

Je dost radioamatérů, jejichž koníčkem je opravování různých přístrojů, starými „dvoulampovkami“ počínaje a televizory konče. Nad nefungujícími přístroji stráví řadu hodin – a mnohdy zbytečných hodin. Je-li totiž k dispozici pouze „cejchovaný šroubovák“, trvá určení závady velmi dlouho. I při vlastní vývojové činnosti – při konstrukci různých přijímačů, měřicích přístrojů a elektronických obvodů ušetří měřicí přístroje mnoho času a mnohdy i peněz. Každý má většinou doma např. různé tranzistory

elektronkový nebo tranzistorový voltmetr s velkým vstupním odporem, dále měřič nebo alespoň zkoušeč tranzistorů a diod, ohmmetr – jen těsně za těmito přístroji stojí nízkofrekvenční a vysokofrekvenční generátor, nízkofrekvenční a vysokofrekvenční voltmetr a konečně osciloskop.

Některé z těchto přístrojů si můžete postavit podle návodů, uveřejněných v tomto čísle Radiového konstruktéra. Je uvedeno několik námětů na zkoušeč a měřič tranzistorů a diod všeho druhu;

ŠROUBOVÁK NESTAČÍ



bez označení, jejichž údaje nezná; měřič tranzistorů řekne o takovém tranzistoru všechno, co potřebujeme znát k jeho použití. Je velmi výhodné přeměřit všechny součástky, tj. odpory, kondenzátory apod., než je zapojíme do obvodů; mnohé z nich totiž dlouhým skladováním mění své parametry a to někdy tak značně, že mohou být příčinou špatné funkce konstruovaného přístroje. Nízkofrekvenční voltmetr umožní nespolehat se na sluch a nastavit opravdu přesně maximální zesílení všech nízkofrekvenčních zesilovačů a předzesilovačů. K seriózní opravárenské i konstrukční práci je tedy nutné alespoň základní vybavení měřicími přístroji. Patří k nim dobrý voltmetr a ampérmetr, pro tranzistorové přístroje (a konečně i pro elektronkové)

měřič tranzistorů je popsán podrobně, takže si ho může postavit i méně zkušený radioamatér. Tři nízkofrekvenční voltmetry, z nichž poslední je opět popsán podrobně ve formě konstrukčního návodu, skýtají možnost výběru z hlediska vlastností, technické náročnosti i ceny. V poslední části jsou popisovány voltmetry pro měření stejnosměrného napětí s velkým vstupním odporem, případně i jejich kombinace s ohmmetrem.

U všech konstrukčních návodů je podrobně popsána funkce, použité součástky a celý postup uvádění do chodu. Přístroje jsou stavěny na destičkách s plošnými spoji, které konstrukci každému značně usnadní. V neposlední řadě je důležitý i vzhled hotového přístroje; autor

mu vždy věnoval velkou péči a všechny přístroje mají téměř profesionální vzhled.

Zvažte tedy, jak jste vybaveni pro „provozování“ svého koníčka a zda se

vám nevyplatí věnovat několik desítek hodin stavbě měřicích přístrojů; čas, vynaložený na stavbu, určitě ušetříte při pozdějším vyhledávání závad.

Měřicí přístroje

pro praxi

Ing. Tomáš J. Hyan

Mezi základní měřicí přístroje v dílně radioamátéra patří zkoušeč a měřič tranzistorů a diod, stejnosměrný a střídavý voltmetr, ohmmetr, nf milivoltmetr a tónový generátor. Stavbě tónového generátoru a jeho použití byl věnován obsah Radiového konstruktéra č. 5/1967. V tomto čísle RK se věnujeme zkoušečům tranzistorů (včetně návodové konstrukce měřiče) a elektronickým tranzistorovým voltmetrům. Ukázky zahraničních komerčních výrobků informují čtenáře o tom, jak jsou řešeny vybrané přístroje vyšší třídy. Návodové popisy amatérských konstrukcí (nf milivoltmetru a voltmetru k měření stejnosměrných napětí) pak ukazují, jakým způsobem lze dosáhnout i při jednoduchosti zapojení více než uspokojivých výsledků.

Zkoušení a měření tranzistorů a diod

Polovodičové součástky zaujímají stále důležitější místo v slaboproudé elektronice. Každý, kdo chce s nimi úspěšně pracovat, musí mít možnost poznávat a ověřovat si vlastnosti těch typů, které má právě k dispozici. To mu umožní vhodný a pokud možno univerzální měřič. Z literatury známe mnoho různých měřičů tranzistorů a diod, z nichž převážná většina je určena k měření základ-

ních vlastností polovodičových prvků (měří se jimi např. statický zesilovací činitel nakrátko $\beta (h_{21E})$, zbytkový proud I_{CB0} nebo I_{CE0} , závěrné napětí, stejnosměrné charakteristiky apod.). Speciálními měřicími přístroji lze však měřit i některé méně běžné parametry (h_{11} , h_{21} , h_{22} , \dots , y_{11} , y_{21} , y_{22} , \dots).

Pro nejběžnější praxi vystačíme s jednoduchými zkoušeči, které mohou poměrně přesně a spolehlivě určit stav zkoušených tranzistorů a diod.

Jednoduchý zkoušeč tranzistorů a diod

Jednoduchý zkoušeč tranzistorů a diod (obr. 1) umožňuje přezkoušení statických vlastností většiny běžných tranzistorů. (Zkoušení dynamických vlastností vysokofrekvenčních tranzistorů umožňuje další zkoušeč, jehož popis je v následující kapitole).

K rychlému zkoušení polovodičových diod a tranzistorů lze improvizovaně sestavit „měřicí pracoviště“ z několika nezbytných součástek a měřidla. K vyzkoušení polovodičových prvků postačí většinou jednoduché zapojení (např. AR 1/67, AR 3/67), jímž lze zjistit statický proudový zesilovací činitel $\beta (h_{21E})$ tranzistoru nebo chování diody pod napětím v závěrném nebo propustném směru. Z těchto požadavků vychází celá řada jednoduchých zkoušečů i dále popisované zapojení.

Slouží k rychlému přezkoušení tranzistorů n-p-n i p-n-p, diod a usměrňovačů, dále pak ke kontrole odporů až do 10 kΩ.

Zkoušení tranzistorů

Jak je patrné z obr. 1, proměřuje se zkoušený tranzistor v zapojení se společným emitorem (SE). Jeho báze se při zkoušení připojuje stisknutím tlačítka *Tl* přes odpor R_V ke zdroji. Při $R_V = 39 \text{ k}\Omega$ je proud báze $I_B = 100 \text{ }\mu\text{A}$, při $R_V = 390 \text{ k}\Omega$ ($351 \text{ k}\Omega + 39 \text{ k}\Omega$) je $I_B = 10 \text{ }\mu\text{A}$. Před připojením zkoušeného tranzistoru ke svorkám B, E a C je ovšem nutno přepólovat zdroj napětí (tvořený obvykle vestavěnou baterií) tak, jak to odpovídá typu tranzistoru; tzn. pro tranzistory n-p-n záporný pól k emitoru, pro p-n-p opačně. Volbu polarity umožňuje přepínač $Př_1$.

Při zanedbání zbytkového proudu platí pro stejnosměrný (statický) zesilovací činitel h_{21E} vztah:

$$h_{21E} = \frac{I_C}{I_B} \quad [—; \text{mA}, \text{mA}] \quad (1),$$

kde I_B je zvolený proud báze (10 nebo $100 \text{ }\mu\text{A}$) a

I_C jemu odpovídající proud kolektoru (jehož velikost čteme na měřidle – miliampérmetru, zapojeném v sérii s baterií).

Maximální kolektorový proud I_C , který může měřidlo v daném zapojení indikovat, lze zjistit ze vztahu:

$$I_{C\max} = \frac{U_B - U_{CES}}{R_C} \quad [\text{mA}; \text{V}, \text{V}, \text{k}\Omega] \quad (2)$$

kde U_B je napětí baterie,

R_C pracovní (kolektorový) odpor tranzistoru a

U_{CES} saturační napětí, jehož velikost je asi 0,1 až 0,5 V.

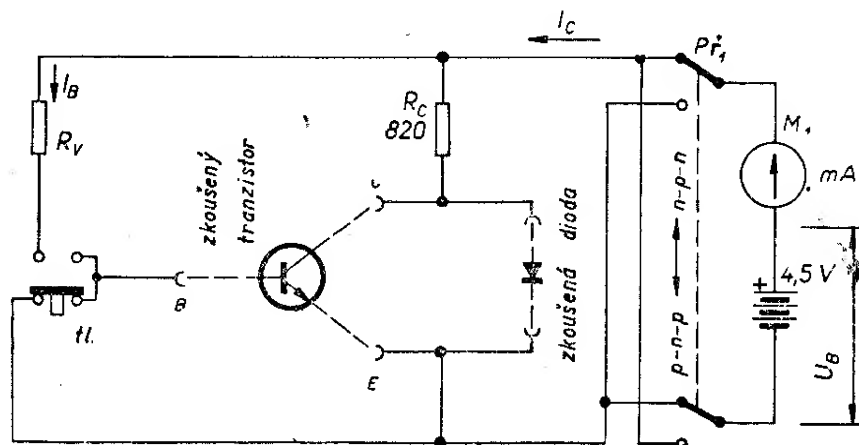
(Přesná saturační napětí různých tranzistorů můžeme nalézt v katalogích výrobců).

Dosadíme-li do rovnice (2), zjistíme, že

$$I_{C\max} = \frac{4,5 - 0,2}{0,82} = 5,25 \text{ mA}.$$

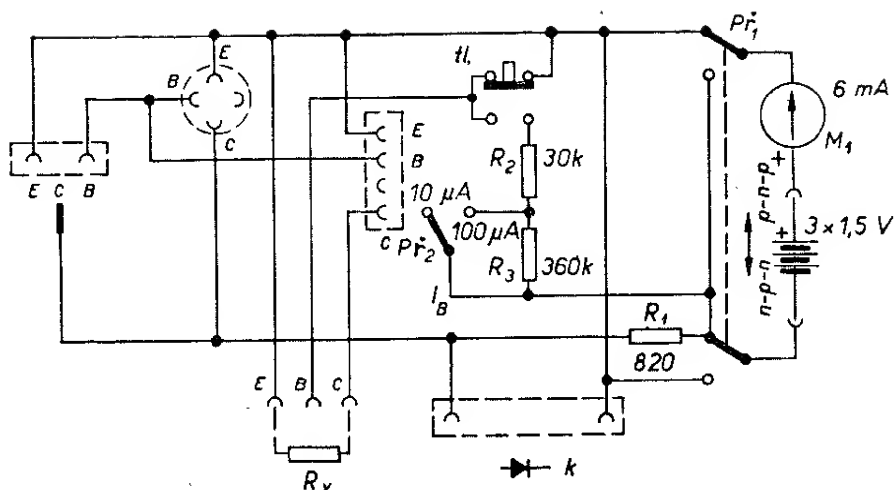
Použité měřidlo M_1 musí mít tedy měřicí rozsah 6 mA (pro plnou výchylku ručky).

Úvahou zjistíme, že tímto zkoušečem můžeme tedy zjišťovat zesilovací činitel tranzistorů až do $h_{21E} = 500$ ($500 \cdot 10 \text{ }\mu\text{A} = 5000 \text{ }\mu\text{A} = 5 \text{ mA}$). Na obr. 2 je celkové zapojení zkoušeče včetně přepínače $Př_2$, který slouží k volbě požadovaného proudu báze. V levé poloze (přepínač $Př_2$ rozpojen) jsou v přívodu k bázi oba odpory R_2 a R_3 v sérii a proud báze je $10 \text{ }\mu\text{A}$. Na tomto rozsahu se tedy měří tranzistory s předpokládaným velkým zesilovacím činitelem $h_{21E} \leq 500$ (např. BC107, který má h_{21E} v mezích 125 až 500). V druhé poloze přepínače je odpor R_3 zkratován a proud báze je nastaven na $100 \text{ }\mu\text{A}$. Na tomto rozsahu zkoušíme tranzistory s nižším zesilovacím činitelem $h_{21E} \leq 50$. Po stisknutí tlačítka *Tl* ukáže ručka miliampérmetru tím větší výchylku (tj. tím větší I_C), čím větší je zesilovací čí-



Obr. 1. Zapojení jednoduchého zkoušeče tranzistorů pracujícího na principu konstantního proudu báze

Obr. 2. Celkové zapojení jednoduchého zkoušeče
 $R_2 = 39 \text{ k}\Omega$,
 $R_3 = 351 \text{ k}\Omega$



nitel zkoušeného tranzistoru. Hledaný zesilovací činitel h_{21E} je přímo úměrný kolektorovému proudu, lze jej tedy snadno určit přímo z polohy ručky měřidla – samozřejmě s přihlédnutím k poloze přepínače P_2 . (Např.: ručka měřidla ukáže výchylku 2,4 mA, přičemž přepínač P_2 je v poloze $I_B = 10 \mu A$. Pak je zesilovací činitel $h_{21E} = 2,4/0,01 = 240$).

Obvykle udává každý výrobce pro ten či onen tranzistor určitý pracovní bod, v němž má mít zesilovací činitel předepsanou velikost (např.: pro vf tranzistor Tesla 152NU70 je doporučený pracovní bod dán napětím $U_{CE} = 5 \text{ V}$ a proudem $I_C = 0,5 \text{ mA}$; v tomto pracovním bodu se má pohybovat statický zesilovací činitel h_{21E} v mezích 20 až 100. Pro jiný tranzistor – křemíkový BC107b (obdoba našeho KC507) doporučuje jeho výrobce pracovní bod stejného napětí mezi kolektorem a emitorem, tedy $U_{CE} = 5 \text{ V}$, avšak při jiném kolektorovém proudu $I_C = 2 \text{ mA}$. Za těchto pracovních podmínek má mít tranzistor proudový zesilovací činitel $h_{21E} = 290$. Je pochopitelné, že u tohoto jednoduchého zkoušeče není možno dodržet přesně stanovený pracovní bod; pro funkční přezkoušení tranzistoru to však není podstatné a nutné.

Rozlišení tranzistorů typu n-p-n a p-n-p

Každý tranzistor tvoří v zásadě dvě navzájem opačně pólované diody, jejichž společný vývod v každém případě tvoří bázi. Tak u tranzistoru p-n-p tvoří bázi společný vývod katod obou diod. U tran-

zistoru n-p-n tvoří bázi společný vývod obou anod. Z toho vyplývá, že při přiložení záporného napětí na emitor nebo kolektor (vzhledem k bázi) u tranzistoru p-n-p jsou jeho elektrody, kolektor i emitor, pólovány v závěrném (nepropustném) směru (a tudíž jimi při zkoušení protéká minimální, tzv. zbytkový proud řádu desetin, jednotek, až desítek μA). U tranzistoru typu n-p-n musí být na jeho kolektor či emitor přiloženo kladné napětí (vzhledem k bázi), máme-li dosáhnout stejného stavu jako v předcházejícím případě. Tak je možné jednoduchým přeměřením prostřednictvím svorek 2 (na obr. 3) – určených pro připojování diod – zjistit u neznámého tranzistoru, který z jeho vývodů je báze a je-li typu p-n-p nebo n-p-n. Pro toto zkoušení je ovšem nutno mít na paměti, že v poloze přepínače P_1 „n-p-n“ je záporný pól vestavěné baterie na té svorce pro měření diod, která je určena pro připojení katody diody.

Identifikace elektrod

Pomocí popisovaného zkoušeče lze též identifikovat jednotlivé elektrody u neznámých typů tranzistorů.

Nalezení báze a určení typu vodivosti (p-n-p, popř. n-p-n) pochopitelně předchází identifikaci zbývajících elektrod. Pro zjištění, který z vývodů je kolektor a který emitor, využijeme té skutečnosti, že každý bipolární tranzistor v zapojení se společným emitorem zesiluje i v inverzním zapojení. (Pod pojmem inverzní zapojení rozumíme takové zapojení tran-

zistoru, kdy emitor je prohozen s kolektorem, přičemž však polarita zdroje je zachována). Zesilovací činitel tranzistoru v inverzním zapojení se však značně liší od zesilovacího činitele v běžném zapojení – je podstatně menší.

Identifikace tedy spočívá ve dvojím proměření zkoušeného tranzistoru, přičemž při druhém měření prohodíme „kolektor“ s „emitorem“ mezi sebou. Ta poloha vývodů, při níž má tranzistor větší zesilovací činitel je správná a je jí současně určen kolektor a emitor.

Rozlišení germaniových a křemíkových tranzistorů

Rozlišení obou druhů tranzistorů je možné proto, že saturační napětí křemíkové diody je 0,7 V, zatímco u germaniové pouze 0,1 až 0,5 V. Měřením proudu diody báze-emitor v propustném směru na popisovaném zkoušeči se dá tedy určit, zda se jedná o křemíkový nebo germaniový tranzistor.

V případě, že ověřujeme křemíkový tranzistor, teče (v propustném směru) drahou báze-emitor proud I_{BES} , jenž je vzhledem k proudu, který by protékal diodou B-E germaniového tranzistoru, podstatně menší. Vyplyvá to z obecného vztahu pro I_{BES}

$$I_{BES} = \frac{U_B - U_{BES}}{R_C} \quad [\text{mA}; \text{V}, \text{V}, \text{k}\Omega] \quad (3)$$

kde I_{BES} je hledaný a současně určující proud diody báze-emitor,

U_B napětí vestavěné baterie,
 U_{BES} saturační napětí diody B-E (pro křemík 0,7 V; pro germanium 0,2 V) a
 R_C pracovní odpor zkoušeče (820 Ω).

Po dosazení tedy obdržíme pro křemíkový tranzistor

$$I_{BES} = \frac{4,5 - 0,7}{0,82} \doteq 4,6 \text{ mA},$$

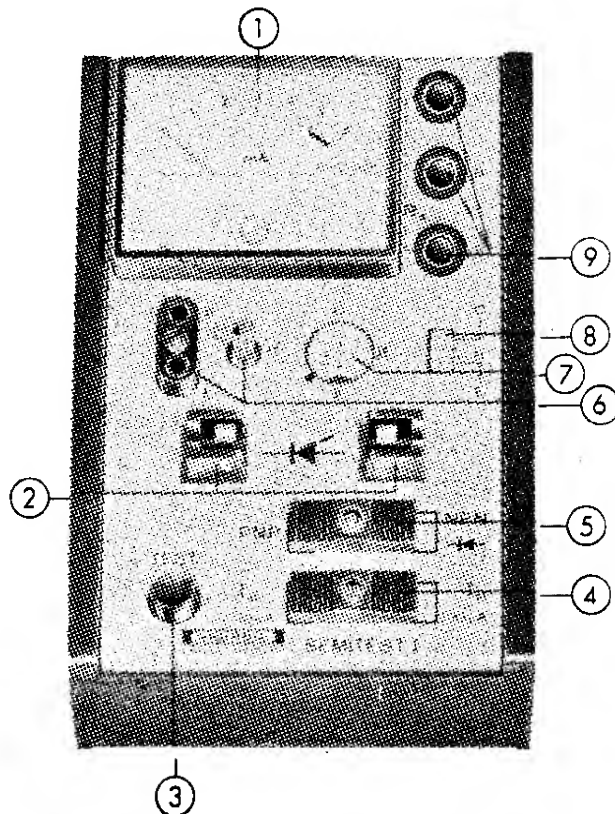
pro germaniový tranzistor

$$I_{BES} = \frac{4,5 - 0,2}{0,82} \doteq 5,2 \text{ mA}.$$

Ručka měřidla tedy spolehlivě ukáže velikost protékajícího proudu I_{BES} , čímž je jednoznačně určen materiál tranzistoru. Předpokladem ovšem je, že baterie má správné napětí. O tom se přesvědčíme zkratováním svorek 2 (na obr. 3) pro připojení diody. Je-li baterie čerstvá, musí ručka měřidla ukázat proud 5,5 mA, což odpovídá napětí baterie 4,5 V.

Zkoušení diod

Diody zkoušíme jednak v propustném a jednak v závěrném směru. K tomu účelu slouží přepínač $Př_1$ na obr. 2, jímž měníme polaritu vestavěné baterie. Je-li dioda v pořádku, teče diodou v propustném směru (přepínač $Př_1$ v poloze



Obr. 3. Pohled na ovládací desku zkoušeče (zapojení na obr. 2); který vyrábí zahraniční firma Grundig-Electronic. 1 – měřidlo M_1 (6 mA), 2 – objímka pro zkoušené diody, 3 – tlačítko, 4 – přepínač $Př_2$ pro volbu proudu báze, 5 – přepínač $Př_1$ pro změnu polarity baterie, 6, 7, 8 – objímky pro připojení různých druhů tranzistorů, 9 – zdířky pro připojení šňůr a zkoušených odporů R_x

„n-p-n“) určitý proud, jehož maximální velikost může být až 5,5 mA. (Velikost proudu v propustném směru je dána vlastnostmi zkoušené diody a je na nich závislá). V závěrném směru může diodou protékat jen nepatrný závěrný proud (řádu desítek μA), který ručka miliampérmetru není schopna indikovat (přepínač $P\check{r}_1$ v poloze „p-n-p“). Pouze v tom případě, je-li zkoušená dioda špatná, ukáže ručka miliampérmetru patrnou výchylku (při zkoušení diody v závěrném směru). Čím je tato výchylka větší, tím je dioda horší.

Zkoušení odporů

Neznámé nebo „podezřelé“ odpory asi do 10 k Ω připojujeme přívodními šňůrami ke zdírkám C a E (na obr. 3 označené 9). Měřený odpor nemůžeme ovšem

Obr. 4. Základní zapojení jednoduchého zkoušeče v \check{f} tranzistorů. (Tranzistor se přezkouvá ve funkci oscilátoru na různých kmitočtech)

určit přímo; k jeho výpočtu použijeme vztah

$$R_x = \frac{U_B}{I} - 820 \Omega \quad [\Omega; \text{V}, \text{A}, \Omega] \quad (4),$$

kde R_x je neznámý odpor,
 U_B napětí vestavěné baterie, tj. 4,5 V a
 I výchylka miliampérmetru, dosazená do vztahu (4) v ampérech.

Pozn.: Pokusí-li se některý čtenář o vlastní aplikaci popsaného zkoušeče, může měřidlo vybavit pomocnou stupnicí, cejchovanou přímo v ohmech (zpracováno podle Grundig-Technische-Informationen 3/67, str. 229 až 231).

Jak je zřejmé z obr. 3, je popisovaný zkoušeč výrobkem firmy Grundig (SE-MITEST I).

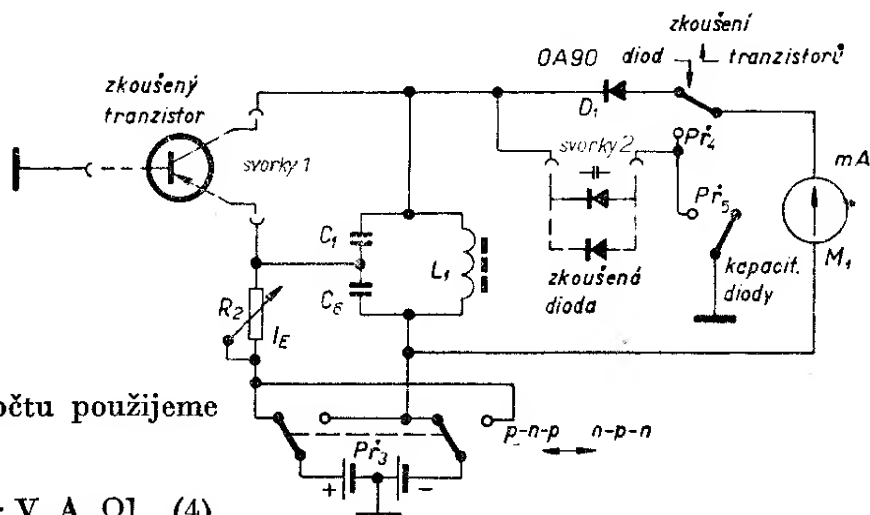
Zkoušeč tranzistorů

Dalším jednoduchým přístrojem je zkoušeč, jímž lze snadným způsobem prověřovat dynamické vlastnosti n \check{f} a v \check{f} tranzistorů, běžných a kapacitních diod.

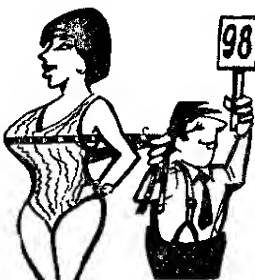
Na obr. 4 je zjednodušené schéma tohoto zkoušeče. Zkoušený tranzistor pracuje ve funkci oscilátoru, přičemž lze stupňovitě měnit kmitočet oscilací podle potřeby. Podle chování zkoušeného tranzistoru v obvodu oscilátoru při různých kmitočtech lze usuzovat na velikost jeho v \check{f} zesilovacího činitele.

Popis zapojení a činnosti zkoušeče

Rezonanční obvody oscilátoru tvoří jednotlivé cívky L_1 až L_5 spolu s příslušnými dvojicemi kondenzátorů C_1 až C_5 a C_6 až C_{10} (obr. 5). Pětipolohovým pře-



pínačem $P\check{r}_1$ se vždy jeden z těchto obvodů přepíná ke zkoušenému tranzistoru, čímž se současně volí kmitočet oscilací. Volit lze tyto kmitočty oscilátoru:
 0,5 MHz; 3 MHz; 10 MHz; 40 MHz;
 100 MHz.



Přepínačem $P\check{r}_3$ se mění polarita baterií podle druhu zkoušeného tranzistoru (p-n-p, n-p-n). Tranzistor se po zasunutí do objímky rozkmitá (je-li dobrý). Přepínač $P\check{r}_1$ je přepnut

do polohy, označující nejnižší kmitočet (tj. 0,5 MHz); na tomto kmitočtu musí kmitat i běžný nf typ. Vř napětí, které vzniká kmitáním oscilátoru, se usměrňuje (detekuje) diodou D_1 a pak indikuje výchylkou ručky měřidla M_1 . Přepínáním na vyšší kmitočty lze zjistit, že se amplituda oscilačního napětí mění; zmenšuje se směrem k vyšším kmitočtům, popř. oscilátor přestane kmitat. Tak lze odhadnout i mezní kmitočet, na němž zkoušený tranzistor ještě spolehlivě pracuje.

Při zkoušení tranzistoru se nastaví emitorový proud potenciometrem R_2 na nejmenší velikost, tj. na 0,5 mA. Jeho zvětšováním – až na 5 mA – lze zvětšit amplitudu vř kmitů – zvláště na vysokých kmitočtech. Vinutí cívek pro různé kostřičky a jádra spočítáme – při aplikaci – např. podle AR 12/67.

Rozdíly mezi legovanými (slévanými) a difúzními tranzistory

Tímto zkoušečem se dá též zjistit, zda ověřovaný tranzistor je difúzní nebo legovaný (tj. jakou technologií byl vyroben). Legované nf tranzistory kmitají běžně jen na kmitočtu 0,5 MHz, legované vř tranzistory na kmitočtu 3 až 10 MHz.

Naproti tomu difúzní tranzistory (a planární, mesa, ...) kmitají obvykle až do 100 MHz. Ovšem některé s nižším mezním kmitočtem (např. 50 MHz) kmitají pochopitelně (ve zkoušeči) maximálně na rozsahu 40 MHz.

Z velikosti amplitudy vř kmitů na tom či onom zvoleném měřicím kmitočtu lze usuzovat na mezní kmitočet zkoušeného tranzistoru. Tak např. kmitá-li zkoušený tranzistor při $I_E = 0,5$ mA na kmitočtu 100 MHz s amplitudou 3 až 4 V (efektivní napětí), lze jednoznačně dospět k závěru, že jeho mezní kmitočet je značně vyšší a současně že jeho zesílení na tomto měřicím kmitočtu (tj. 100 MHz) bude více než dostatečné.

Srovnáváním dobrých vř tranzistorů se zkoušenými a po delší době používání tohoto zkoušeče získá obsluhovateli cit pro správné hodnocení změřených výsledků.

Je však nutno poznamenat, že udané měřicí kmitočty závisí do jisté míry i na vlastnostech zkoušených tranzistorů, především na jejich výstupní kapacitě. Proto může dojít u některých tranzistorů (s velkou výstupní kapacitou) k odchylce při určení mezního kmitočtu a to až o $\pm 10\%$ vzhledem k měřicímu kmitočtu. (Obdobně je tomu i při určování velikosti emitorového proudu – který do určité míry závisí na vnitřním odporu zkoušeného tranzistoru).

Zkoušení výkonového zesílení

Výkonové zesílení tranzistoru při jeho optimálním přizpůsobení je dáno vztahem:

$$A_P = \frac{|y_{21e}^2|}{4y_{11e}y_{22e}} \quad [—; S, S] \quad (5)$$

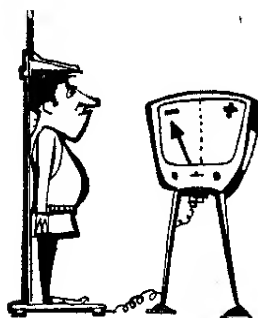
kde y_{21e} je strmost,

y_{11e} vstupní vodivost nakrátko a

y_{22e} výstupní vodivost nakrátko.

(Zpětná vazba v zapojení je zavedena takovým způsobem, že výkonové zesílení závisí v podstatě na čtverci strmosti a tím též na kolektorovém proudu). Měřítkem výkonového zesílení je tedy amplituda vř kmitů, kterou zkoušeč indikuje vestavěným diodovým voltmetrem. Je-li tedy oscilační kmitočet zkoušeného tranzistoru (na němž tranzistor ve zkoušeči kmitá) dostatečně daleko pod jeho mezním kmitočtem a je-li současně stupeň zpětné vazby oscilátoru dostatečně velký, pak bude amplituda vř kmitů zkoušeného tranzistoru maximální. Amplituda kmitů je určena i provozním napětím a v našem případě je 4 V (efektivní napětí). Možnost serízení pracovního bodu volbou emitorového proudu mezi 0,5 až 5 mA umožní i zjistit,

jak dalece se mění výkonové zesílení se změnou pracovního bodu. A protože u tranzistoru, jehož mezní kmitočet $f_{mez} \gg f_{osc}$ je tato změna minimální, poslouží regulátor R_2 i v tomto směru.



Zkoušení diod

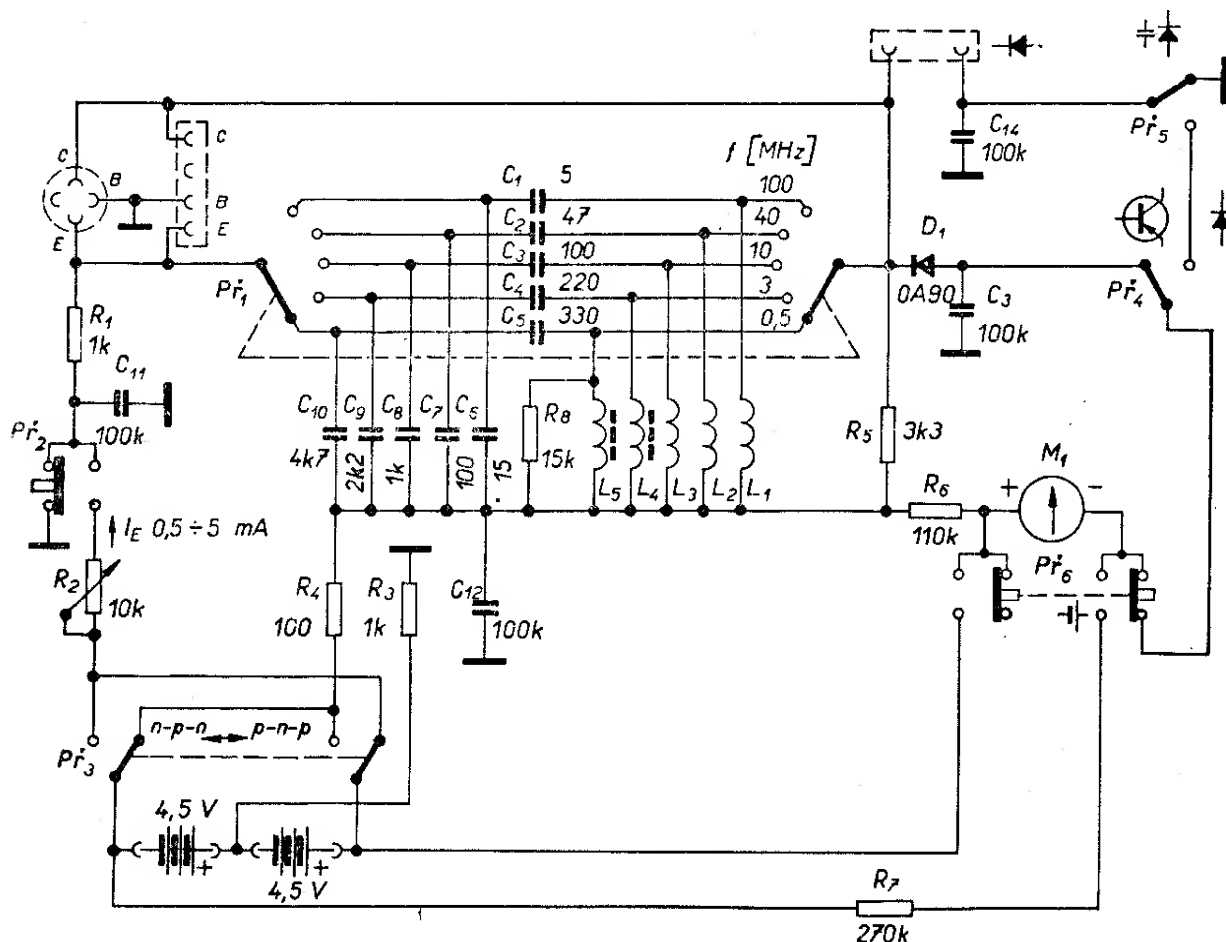
Pro ověřování diod se používá zkoušeč jako oscilátor, tzn. ve spojení s vybraným dobrým tranzistorem, spolehlivě kmitajícím i na kmitočtu 100 MHz (např. GF506). Přepínačem $Př_1$ můžeme srovnávat velikost vf napětí detekovaného zkoušenou diodou a vestavěnou diodou D_1 . (Dioda D_1 , typ OA90, detekuje ještě velmi dobře na kmitočtu 100 MHz, kde vykazuje zanedbatelný stupeň zpětného působení. Lze ji nahradit naší OA5, popřípadě GA203). Srovnáním výchylky měřidla M_1 při použití vestavěné diody a zkoušené diody lze tedy velmi dobře odhadnout mezní kmitočet zkoušené diody.

Zkoušení kapacitních diod

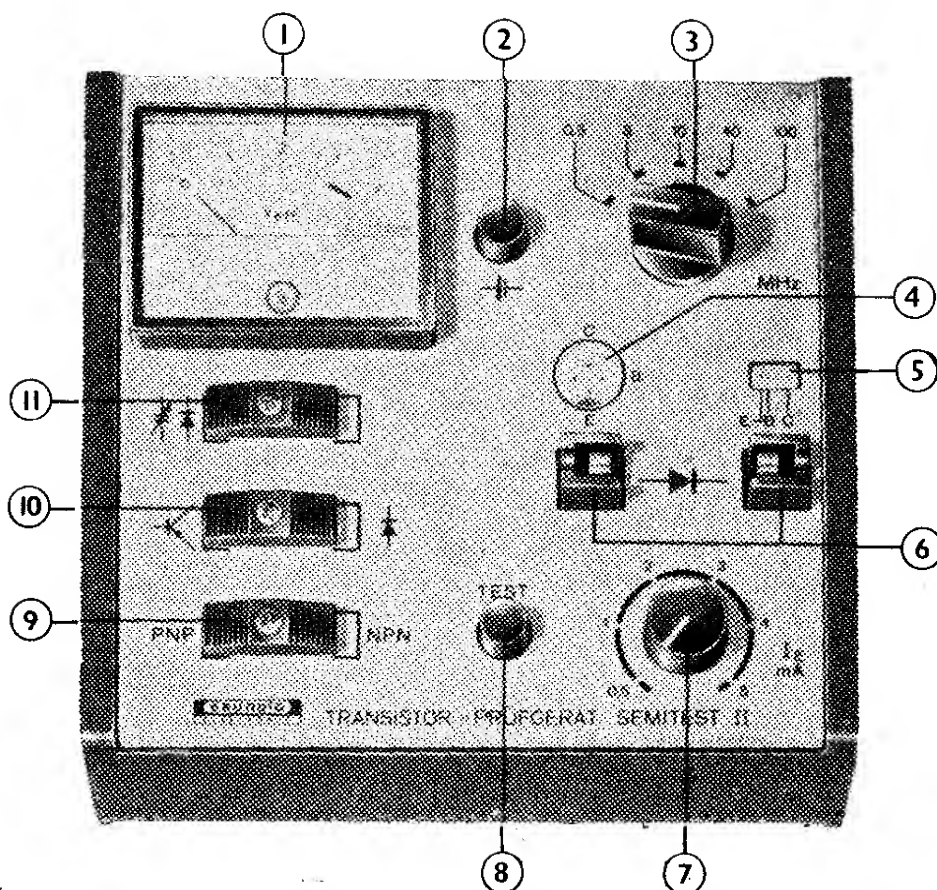
Popisovaným zkoušečem lze odhadovat i jakost a kapacitu kapacitních diod. Postupuje se obdobně jako ve stati

o zkoušení diod; tzn. zkoušeč se s vybraným tranzistorem použije jako oscilátor. Pak se umístí kapacitní dioda do příslušných svorek (6 na obr. 6) tak, že je pólována v závěrném směru. A protože leží paralelně k rezonančnímu obvodu (při uzemnění přepínačem $Př_5$), poklesne kmitočet oscilátoru a amplituda vf kmitů úměrně ke kapacitě diody v závěrném směru a k tlumení. Nahradí-li se kapacitní dioda paralelním článkem RC z odporu R a kondenzátoru C takových vlastností, že se dosáhne stejného poklesu kmitočtu a vf amplitudy, pak se odpor R rovná tlumicímu odporu kapacitní diody a kapacita kondenzátoru C je rovna kapacitě zkoušené diody.

Pracovní napětí pro zkoušení kapacitních diod je 4,5 V. Maximální měřitelná kapacita diody v závěrném směru je na kmitočtu 3 MHz 500 pF, na 10 MHz 350 pF, na 40 MHz 100 pF a na 100 MHz 25 pF. Srovnávací kondenzátory a odpory se vybírají zkusmo.



Obr. 5. Celkové zapojení zkoušeče vf a nf tranzistorů a diod (Grundig-Semitest II.)



Podle Petersen, H.: Transistoren und Dioden Prüfgerät SEMITEST II.
GTI č. 3/67, str. 231 až 235

Obr. 6. Pohled na panel zkoušeče SE-MITEST II.

1 – měřidlo diodového voltmetru M_1 , 2 – tlačítko pro přezkušování stavu baterií (přepínač $Př_6$), 3 – přepínač $Př_1$ pro volbu měřicích kmitočtů (zapojení na obr. 5), 4, 5 – objímky pro připojení různých vř tranzistorů, 6 – objímka pro připojení běžné nebo kapacitní diody, 7 – potenciometr R_2 pro seřizování emitorového proudu I_E , 8 – tlačítko ($Př_2$) pro uvádění zkoušeče do provozu, 9 – $Př_3$ pro volbu polarity baterií, 10 – $Př_4$ pro volbu zkoušení tranzistorů nebo diod, 11 – $Př_5$ pro zkoušení kapacitních diod (srovnávací metodou)

(Poznámka: Při všech zkouškách se uvádí zkoušeč do provozu tlačítkovým přepínačem $Př_2$. Tlačítkový přepínač $Př_6$ slouží pouze ke kontrole stavu vestavěných baterií).

Zkratové proudy mezi jednotlivými elektrodami jsou maximálně

kolektor – báze 4 mA,

kolektor – emitor 8 mA,

báze – emitor 2 mA.

Na obr. 6 je pohled na popisovaný zkoušeč.

Stavební návod na jednoduchý měřič tranzistorů

Dosud popsané zkoušeče neměří bohužel zbytkový proud kolektoru I_{CB0} (což je vlastně proud diody báze – kolektor v závěrném směru); tato veličina je však u germaniových tranzistorů velmi důležitá. Proto se tyto zkoušeče hodí spí-

še pro měření křemíkových tranzistorů, jejichž zbytkový proud I_{CB0} je zanedbatelný (řádu nA).

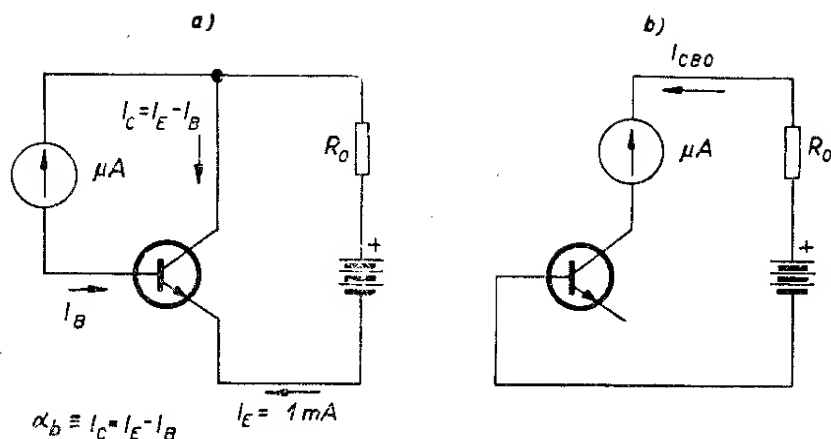
Z uvedeného důvodu uvádím stavební návod na jednoduchý měřič, jímž lze měřit zbytkový proud a z povahy jeho průběhu dokonce usuzovat na velikost závěrného napětí.

Základní zapojení měřiče je na obr. 7a. V zapojení se využívá toho, že proudový zesilovací činitel α_B se rovná kolektorovému proudu, je-li emitorový proud roven jedné. Tento stav vyjadřuje rovnice:

$$\alpha_B = I_C = I_E - I_B \quad (6)$$

Je-li tedy v uvedeném zapojení nastaven emitorový proud přesně 1 mA volbou napětí zdroje a sériového předřadného odporu R_0 , pak měřidlo zapojené v bázi ukáže její proud I_B . Proud báze I_B odečtený od proudu emitoru I_E je

Obr. 7. Základní zapojení měřiče tranzistorů. a) – měření proudového zesilovacího činitele α_E , b) – měření zbytkového proudu kolektoru I_{CB0}



velikostí kolektorového proudu I_C , což je současně bezrozměrné číslo, určující zesilovací činitel α_B . Např.: $I_B = 40 \mu A$, pak $I_C = 1,0 - 0,04 = 0,96$, a tedy $\alpha_B = 0,96$.

V praxi však nás více zajímá zesilovací činitel α_E (tj. proudový zesilovací činitel nakrátko v zapojení se společným emitorem), který s α_B souvisí podle vztahu

$$\alpha_E = \frac{\alpha_B}{1 - \alpha_B} \quad (7)$$

kde α_B je proudový zesilovací činitel nakrátko v zapojení se společnou bází a je vždy ≤ 1 .

Činitel α_E se někdy označuje řeckým písmenem β nebo jako parametr h_{21E} v smíšených (hybridních) charakteristikách. Činitel β můžeme tedy zjistit ze změřeného činitele α_B přepočtem podle vztahu (7), nebo – což je jednodušší a rychlejší – určíme jej z rovnice (1), do níž jsme za I_C dosadili pravou stranu rovnice (6). Pak tedy je:

$$h_{21E} = \frac{I_E}{I_B} - 1 \quad (8)$$

Podle vztahu (8) je ověřen průběh stupnice měřidla popisovaného měřiče.

Na rozdíl od měřiče popsaného v úvodním článku pracuje tento měřič s konstantním proudem emitoru. V tom tkví jeho velká výhoda. Lze jím totiž měřit i výkonové tranzistory (při předem stanoveném kolektorovém proudu), aniž by byla odebíraným proudem z vestavěné baterie (mnohdy značně velkým – řádu stovek mA) ohrožena přesnost výsledku.

Měření I_{CB0} a h_{21E}

Po připojení tranzistoru do příslušných svorek měříme buď statický zesilovací činitel h_{21E} nebo zbytkový proud kolektoru I_{CB0} . Při měření I_{CB0} odpovídá zapojení měřiče základnímu zapojení na obr. 7b.

Na obr. 8 je celkové zapojení měřiče. Skládá se ze dvou přepínačů $Př_1$ a $Př_2$, dvou měřidel M_1 , M_2 , příslušných svorek a předřadného ochranného odporu R_0 . Přepínačem $Př_1$ volíme druh měření (I_{CB0} nebo β) a přepínačem $Př_2$ přepínáme polaritu zdroje vzhledem k druhu měřeného tranzistoru. Z pochopitelných důvodů tedy manipulace s přepínačem $Př_2$ předchází vlastnímu měření.

Měřidlo M_1 je velký robustní typ s dlouhou ručkou a přehlednou stupnicí pro maximální výchylku $50 \mu A$. Při měření ukazuje proud báze I_B měřeného tranzistoru, čímž je současně dán hledaný zesilovací činitel – podle rovnice (8). Při emitorovém proudu 1 mA tedy ukazuje toto měřidlo činitel h_{21E} v intervalu od 20 do 500, což je vyhovující rozsah pro většinu běžných tranzistorů. (Připojením paralelního odporu – bočníku – k M_1 , jímž by se jeho proudový rozsah zvětšil na 0,5 mA, by bylo možno měřit tranzistory i se zesilovacím činitelem h_{21E} menším než 20, tedy v intervalu od 2 do 50. Průběh stupnice by byl stejný; číselnou hodnotu činitele h_{21E} by však bylo nutno násobit součinitelem 0,1).

Protože v popisovaném měřidle se nepoužívají vestavěné baterie (měřič se napájí ze samostatného zdroje proměnného napětí), je v měřiči vestavěno i kontrolní měřidlo M_2 k měření emitorového

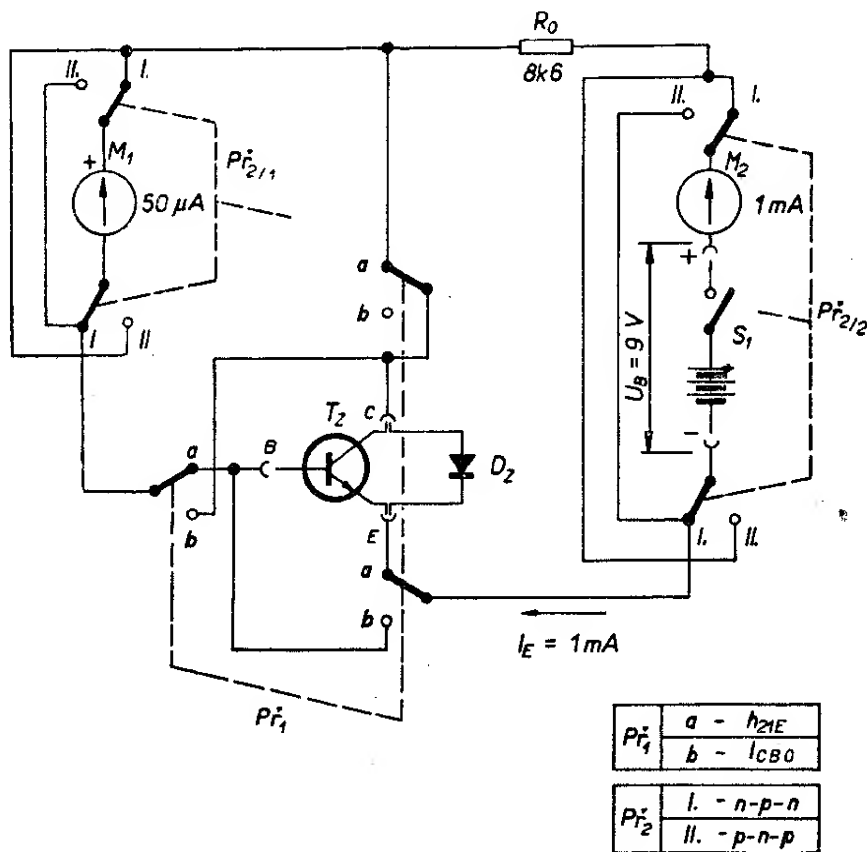
proudu. Při připojení měřiče ke zdroji je tedy nastavena taková úroveň výstupního napětí zdroje (asi 9 V), aby ručka kontrolního měřidla indikovala proud $I_E = 1 \text{ mA}$. Z velikosti tohoto napětí ($U_B = 9 \text{ V}$) pak podle Ohmova zákona a s přihlédnutím k úbytku na přechodu měřeného tranzistoru U_{CEz} vyplyne i velikost předřadného odporu $R_0 = 8,6 \text{ k}\Omega$.

(Při použití zdroje proměnného napětí nemusí být velikost odporu R_0 přesná. Jinak tomu ovšem bude, rozhodneme-li se pro vestavěný zdroj – např. dvě ploché baterie zapojené v sérii. V tom případě je nutno použít na místě jednoho přesného odporu R_0 dvojice, složené z pevného ($6,8 \text{ k}\Omega$) a proměnného odporu ($2 \text{ k}\Omega$, trimr). Pak je možno proměnným odporem nastavit přesně požadovaný emitorový proud $I_E = 1 \text{ mA}$. Proměnný odpor umožní i nastavení I_E při použití starších a poněkud vybitých baterií. Pro tento účel je však třeba vyvést ovládací hřídel proměnného odporu v některém místě nosného panelu).

Hlavní význam měřidla M_2 spočívá v tom, že umožňuje měřit tranzistory vždy za stejných pracovních podmínek.

Z toho vyplývá, že při opětovném měření činitele h_{21E} u jednoho a téhož tranzistoru, zjišťovaném po čase, nedochází k rozdílným výsledkům (vyvolaným jinak např. rozdílným I_E apod.), s výhradou změn způsobených stárnutím polovodičů. Měřidlo M_2 by bylo možné též vypustit a jeho kontrolní funkci by mohlo převzít hlavní měřidlo M_1 . Pak by ovšem bylo nutno vhodným přepínačem (vícepólovým) při začátku měření nejprve zapojit měřidlo M_1 do série se zdrojem při současném připojení bočníku rozšiřujícím jeho proudový rozsah na 1 mA . Po přepnutí M_1 do obvodu báze pro měření $I_B (h_{21E})$ by byl bočník odpojen od měřidla; bočník by však i nyní musel být zapojen do série se zdrojem, čímž by se předešlo změně I_E , která by jinak mohla nastat v důsledku změny celkového odporu obvodu. Vypuštění měřidla M_2 by tedy znamenalo potřebu dalšího přepínače a komplikaci při obsluze měřiče.

Při měření zbytkového proudu I_{CBO} je v uzavřeném obvodu (mimo zdroj) měřený tranzistor a měřidlo M_1 i odpor R_0 a měřidlo M_2 . Jak odpor R_0 (řádu $\text{k}\Omega$), tak i vnitřní odpor R_m měřidla M_2 (řádu



Obr. 8. Celkové zapojení jednoduchého měřiče tranzistorů. Přepínač P_1 v poloze a) – měření h_{21E} , v poloze b) měření I_{CBO}

stovek Ω) není při měření na překážku, neboť průtokem I_{CB0} na nich vzniká nepatrný úbytek napětí U_B . Při proudu $10 \mu A$ (což je zbytkový proud I_{CB0} běžných germaniových nf tranzistorů do výkonu 200 mW) je tento úbytek pouze 0,1 V – tedy zanedbatelný. Naproti tomu při měření proraženého tranzistoru tvoří odpor R_0 (spolu s R_m) ochranu proti proudovému nárazu na citlivé měřidlo M_1 (proud je v daném případě maximálně 1 mA).

Vložíme-li do svorek C a E diodu, pak ji můžeme pomocí přepínače $Př_2$ (přepínač S_1 v poloze „b“) vyzkoušet v propustném a závěrném směru stejným způsobem, jak bylo popsáno v úvodním článku.

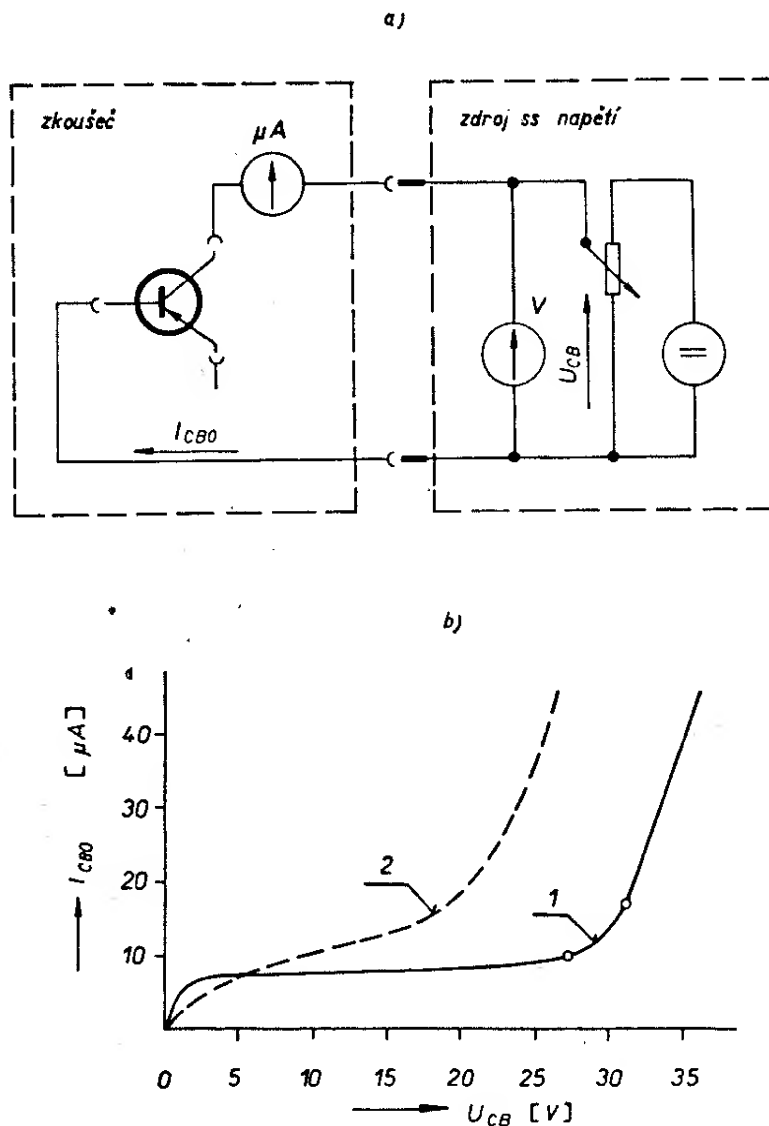
Při napájení měřiče z vestavěných baterií je jej nutno vybavit spínačem S_1 , jímž se při měření přepíná baterie k pří-

slušným obvodům. Spínač se upevní též na nosný panel. Při napájení měřiče z odděleného zdroje spínač S_1 odpadá, neboť jeho funkci přebírá volič (přepínač a spínač) výstupního napětí.

Měření závěrného napětí

Závěrné napětí tranzistorů můžeme zjišťovat popisovaným měřičem jen tehdy, napájíme-li jej ze zdroje proměnného (volitelného) napětí. Přitom postupujeme stejně jako při měření zbytkového proudu I_{CB0} (obr. 9a). Zdroj proměnného napětí skýtá ještě tu výhodu, že můžeme zjišťovat I_{CB0} v různých pracovních bodech, čímž můžeme současně určit i průběh zbytkového proudu při různém napětí kolektoru U_{CB} .

Zbytkový proud I_{CB0} dobrého tranzistoru má být co nejmenší a závisí jen



Obr. 9. a) zapojení tranzistoru pro zjištění jeho závěrného napětí $U_{CB \max}$, b) průběh zbytkového proudu I_{CB0} : 1 – dobrý tranzistor, 2 – špatný tranzistor

nepatrně na napětí kolektoru U_{CB} ; jeho charakteristický průběh je na obr. 9b, křivka 1.

Závěrné napětí tranzistoru zjišťujeme tak, že po připojení zdroje postupně zvyšujeme napětí U_{CB} a ke každé nastavené velikosti tohoto napětí zapisujeme proud I_{CB0} . Proud se má se stoupajícím napětím zvětšovat jen nepatrně. Rychlé zvětšování proudu však má nastat teprve při takovém napětí U_{CB} , které odpovídá katalogovému údaji výrobce (obvykle je v praxi U_{CB} poněkud větší). Napětí U_{CB} , při němž se proud začne rychleji zvětšovat, určuje přímo závěrné napětí tranzistoru. Závěrné napětí (U_{CBmax}) lze definovat jako takové napětí, které zvýšeno o 20 % vyvolá zvětšení zbytkového proudu I_{CB0} o dvojnásobek, tj. o sto procent. (Zvýšením napětí nad tuto kritickou mez se obvykle tranzistor trvale znehodnotí nebo zničí).

Protože závěrné napětí tranzistoru U_{CBmax} se zmenšuje se zvětšující se teplotou (přechodu tranzistoru a okolí), je výhodné pracovat s provozním napětím nižším než je zjištěné závěrné napětí.

U některých germaniových tranzistorů nenajdeme bod, odpovídající výše definovanému napětí U_{CBmax} . To proto, že se zbytkový proud zvětšuje téměř úměrně s kolektorovým napětím (obr. 9b,

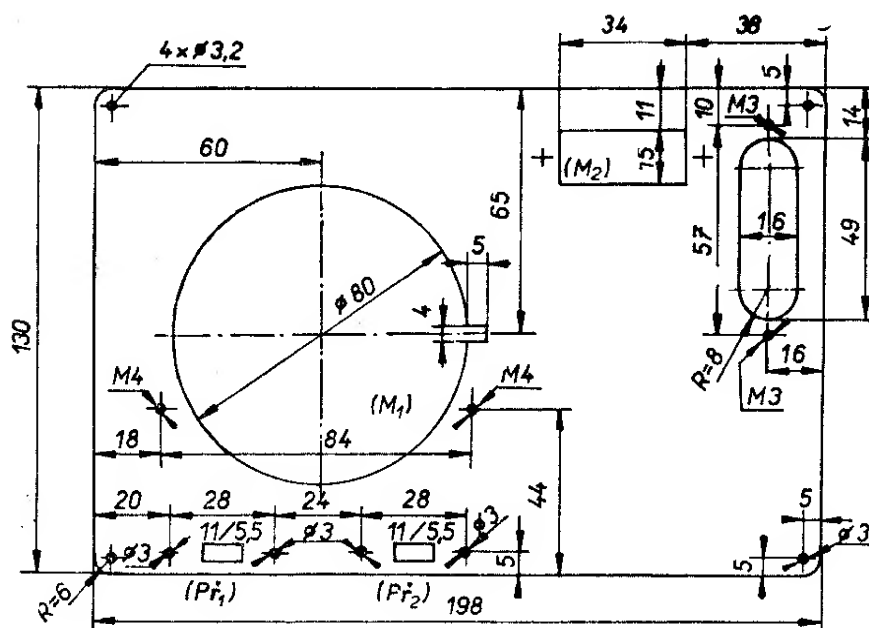
křivka 2). Takovéto tranzistory nejsou příliš vhodné a měříme je jen do určité hranice, zpravidla do pětinasobku I_{CB0} , změřeného při $U_{CB} = 5$ V. Naštěstí se s nimi nesetkáváme často; jsme-li přesto s nimi nuceni pracovat, doporučuje se používat je v zapojeních se značnou stabilizací a s poměrně malým kolektorovým napětím.

Výše uvedeným způsobem nelze zjišťovat závěrné napětí a I_{CB0} křemíkových tranzistorů. To proto, že jejich zbytkový proud I_{CB0} je tak malý (řádu nA, popřípadě desítek nA), že je u měřidla s citlivostí 50 μ A výchylka ručky téměř nepostřehnutelná. Proto se u těchto tranzistorů musíme spolehnout na údaje výrobců.

Napětí U_{CBmax} lze s určitou nepřesností zjistit z průběhu I_{CE0} , tj. z průběhu zbytkového proudu kolektoru v zapojení se společným emitorem, který je přibližně h_{21E} krát větší než I_{CE0} . V daném případě se však zjišťuje U_{CEmax} , které však navíc závisí na velikosti odporu mezi bází a emitorem R_{BE} .

Konstrukce měřicího přístroje

Základem mechanické konstrukce měřiče je nosný čelní panel, na němž jsou umístěny a připevněny všechny hlavní součásti měřiče (obr. 10). Panel je kovový a je vyroben z duralového nebo



Obr. 10. Rozměrový výkres čelního panelu měřiče tranzistorů

hliníkového plechu tloušťky 2 mm. Jeho hlavní rozměry jsou 130×198 mm. V panelu jsou vyříznuty a vyvrtány otvory pro zapuštění měřidel M_1 a M_2 , pro upevnění páčkových přepínačů $Př_1$ a $Př_2$, pro svorky i pro distanční tyčky.

Páčkové přepínače jsou náhradní díly pro japonský přijímač HITACHI, které mají velmi malé rozměry a více než dostatečný počet spínacích kontaktů, a které jsou t. č. ke koupi. Pochopitelně je možno použít i jiné typy; pak bude patrně nutno umístit přepínače (vzhledem k rozměrům) vedle měřidla M_1 (obr. 15, 2. strana obálky).

Nosný panel má v každém svém rohu připevněnu jednu distanční tyčku (obr. 11), takže jej lze používat v ležaté poloze i bez ochranné skříně. Vlastní účel distančních tyček ovšem spočívá v tom, že vymezují stálou vzdálenost panelu po zasunutí do skříně od její zadní stěny.

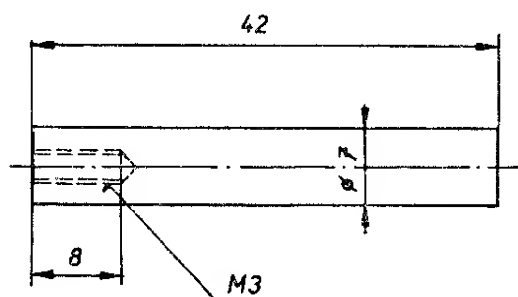
Ochranná skříň měřiče je vyrobena z duralového plechu tloušťky 1 mm. Skládá se celkem ze tří kusů plechu a dvou spojek (obr. 12). Sestavu této skříně si

popíšeme poněkud podrobněji, a to proto, že skřínky stejného typu budeme používat i u jiných měřicích přístrojů, popsaných v tomto čísle RK.

Stěny skřínky jsou sestaveny ze dvou plechových pásů, příslušně ohnutých a spojených k sobě na doraz plechovou spojkou (na dvou protilehlých stranách) a hliníkovými nýty. V tom případě, že skříňku budeme vyrábět z ocelového plechu, je vhodnější pro spojování jednotlivých dílů použít místo nýtů bodovou svářečku. Při umísťování spojek je nutno věnovat pozornost jejich poloze a dodržet bezpodmínečně jejich vzdálenost od krajní hrany stěn (na obr. 12 označenou písmenem „y“). To proto, aby bylo možno (v případě potřeby, např. při použití krycí ozdobné masky z organického skla – viz dále) nosný panel zapustit co nejhlouběji.

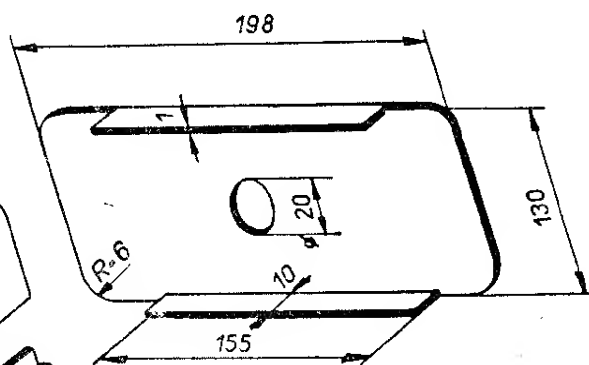
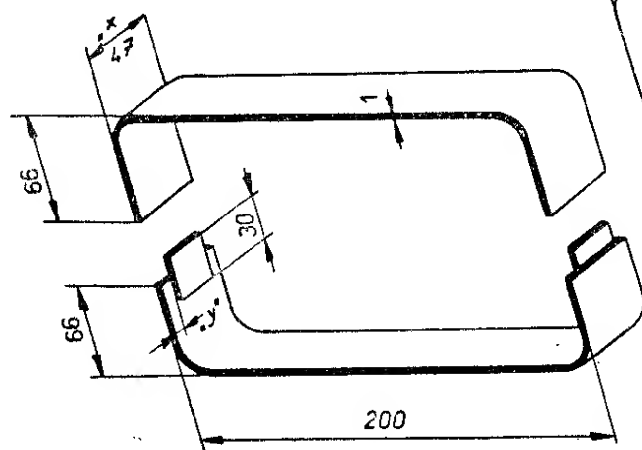
Vzdálenost „y“ tedy zůstává v kterémkoli případě stálá, ať již volíme hloubku skříně (na obr. 12 označenou písmenem „x“) libovolně podle potřeby. S hloubkou skříně by se tedy měnila pouze hloubka spojek.

Nýty pro propojování spojek se stěnami zhotovované skříně volíme z měkkého materiálu, nejlépe z hliníku. To proto, že hlavy nýtů (umístěné z vnějšku) musí být zapuštěné a pro roznýtování a povrchovém zabroušení nesmí být patrné, což lze u měkkých nýtů snadno dosáhnout. Naproti tomu u tvrdých nýtů při nýtování dochází k nežádané deformaci



Al - 4 ks

Obr. 11. Distanční tyčky



Obr. 12. Sestava dílů jednoduché kovové skříně

okolního – někdy i měkčího materiálu.

Při ohýbání pásů stěn je nutno věnovat též náležitou pozornost „zkracování“ délek vlivem tloušťky ohýbaného plechu. (Toto „zkracování“ délky se na jedné straně objevuje jako „prodloužení“ na straně druhé, a je způsobeno zanedbáním odchylky střednice od povrchu ohýbaného materiálu). Proto volíme celkovou délku pásů raději o několik mm delší, abychom před spojením mohli upravit alespoň výšku skříně na požadovanou míru. Z tohoto důvodu se doporučuje méně zkušeným pracovníkům nejprve vyrobit skříň – a pak teprve podle dosažených rozměrů vyříznout čelní panel (a popřípadě i krycí masku z organického skla) na potřebnou velikost.

K snýtovaným bočním stěnám skříně patří zadní stěna, o jejíž velikosti platí totéž, co bylo řečeno výše. Zadní stěna je vložena do snýtovaného pásu obvodových stěn a pronýtována s jejich delšími stranami. Pro tento účel osazujeme nýty ve vzdálenostech asi 20 až 25 mm.

Komu by se nepodařilo ohnout přesahy zadní stěny tak, aby ji pak bylo možno téměř bez vůle nasunout do skří-

ně, pomůže si buď zbroušením přesahů, nebo vložением pásu plechu širokého 10 mm o tloušťce rovné dané diferenci, popřípadě odříznutím ohnutého plechu na jedné straně a jeho nahrazením vloženým úhelníkem.

Případné nerovnosti u hlav nýtů a rovněž všechny spáry vzniklé při sestavě (tj. mezi zadní stěnou a boky, ve spojích boků) zatmelíme Epoxy 1200.

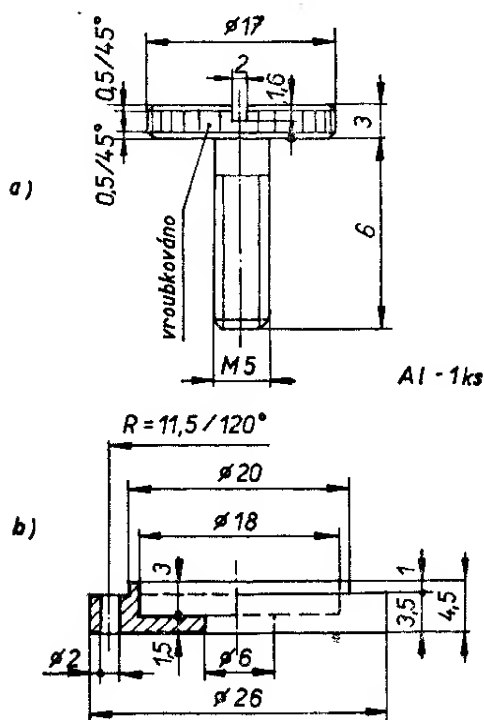
Uprostřed zadní stěny je vyříznut otvor o $\varnothing 20$ mm, do nějž zanýtujeme lůžko upevňovacího šroubu přístroje – obr. 13a a b. Po zabroušení celého povrchu necháme skříň nastříkat vypalovacím lakem, např. v některé autolakovně (v Praze je to možno zadat družstvu MALBA, Praha 10, Za továrnou Mitas. V zámečnické samoobsluze družstva Kovopodniku, Praha 1, Ječná ul. lze si zhotovit popsanou skříňku a udělat si potřebné soustružnické práce).

Na obr. 14 je pohled na sestavený měřič vyjmutý ze skříně a na obr. 15 je pohled na čelní panel měřiče zezadu.

Pokud se týká svorek pro upevňování tranzistoru, je nejlepší použít tzv. přístrojové svorky, k nimž je možno dále připojit adaptovanou patici nebo přípravek pro nasouvání moderních tranzistorů s krátkými vývody.

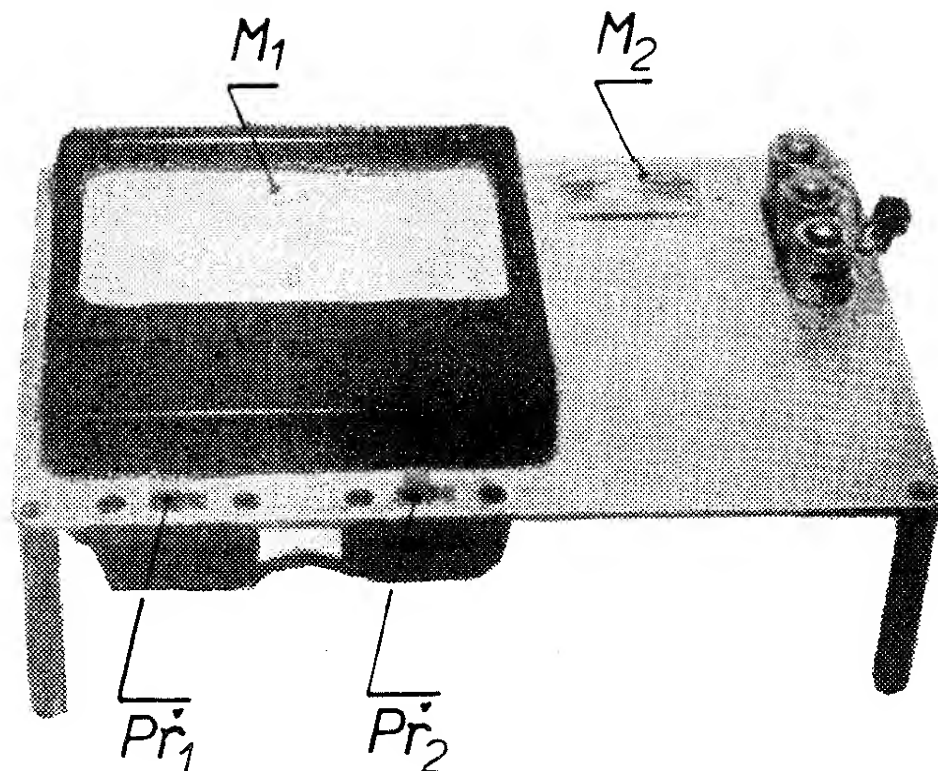
Jako měřicí přístroje doporučuji za M_1 typ Metra – Blansko, DHR8 – 50 μ A, za M_2 též měřidlo Metra – Blansko, ale menší typ DHR3 – 1 mA (nebo 2 mA). Pro výpočet bočniců uvádím vnitřní odpor R_m obou měřidel: M_1 – 6 000 Ω , M_2 – 85 Ω . Tyto údaje poslouží tomu zájemci, jenž by si přál rozšířit měřicí možnosti tím, že by měřil i při větším I_E . (Postup výpočtu bočniců je např. uveden: Hyan: Měření a sladování. SNTL 1964.)

Jak bylo uvedeno již v začátku této kapitoly, měřič dovoluje proměřovat tranzistory při konstantním emitorovém proudu $I_E = 1$ mA. S tímto proudem vystačíme pro měření všech vf a nf tranzistorů malých výkonů a do jisté míry i pro výkonové nf tranzistory. Avšak protože zesilovací činitel h_{21E} závisí na kolektorovém proudu (zmenšuje se u germaniových typů se zvětšujícím se kolektorovým proudem), je vhodné



Obr. 13. Upevňovací šroub (a) a jeho lůžko (b)

Obr. 14. Pohled na
sestavený měřič



měřit výkonové tranzistory při větších proudech. Tedy v takových podmínkách, v jakých budou pracovat; tzn. při proudu I_E řádu desítek až stovek mA. Ve výše uvedené knize nalezne zájemce popis měřiče, u něhož je možno nastavit libovolný emitorový proud. Pak ovšem je nutno pro každý měřený případ zjišťovat činitel h_{21E} dosazením do rovnice (8).

Alternativní řešení

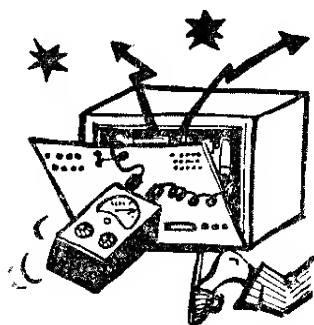
Na obr. 16 je doplněné zapojení výše popsaného měřiče, které dovoluje měřit tranzistory ve čtyřech pracovních bodech, tedy při $I_{E1} = 1 \text{ mA}$, $I_{E2} = 10 \text{ mA}$, $I_{E3} = 100 \text{ mA}$ a $I_{E4} = 1 \text{ A}$. Volbu žádaného emitorového proudu umožňuje přepínač $Př_3$, který přepíná k měřidlu M_2 jednak jeden ze tří bočníků rozšiřujících jeho rozsah na 10, 100 nebo 1000 mA, jednak přepíná do série s M_1 příslušný omezující odpor R_{01} , R_{02} , R_{03} nebo R_{04} – vždy v souladu s voleným pracovním bodem. A protože při větším I_E protéká měřeným tranzistorem též větší proud báze I_B , je měřič vybaven dalším přepínačem $Př_4$, kterým zvětšujeme měřicí rozsah hlavního měřidla M_1 na 0,5 mA nebo 50 mA.

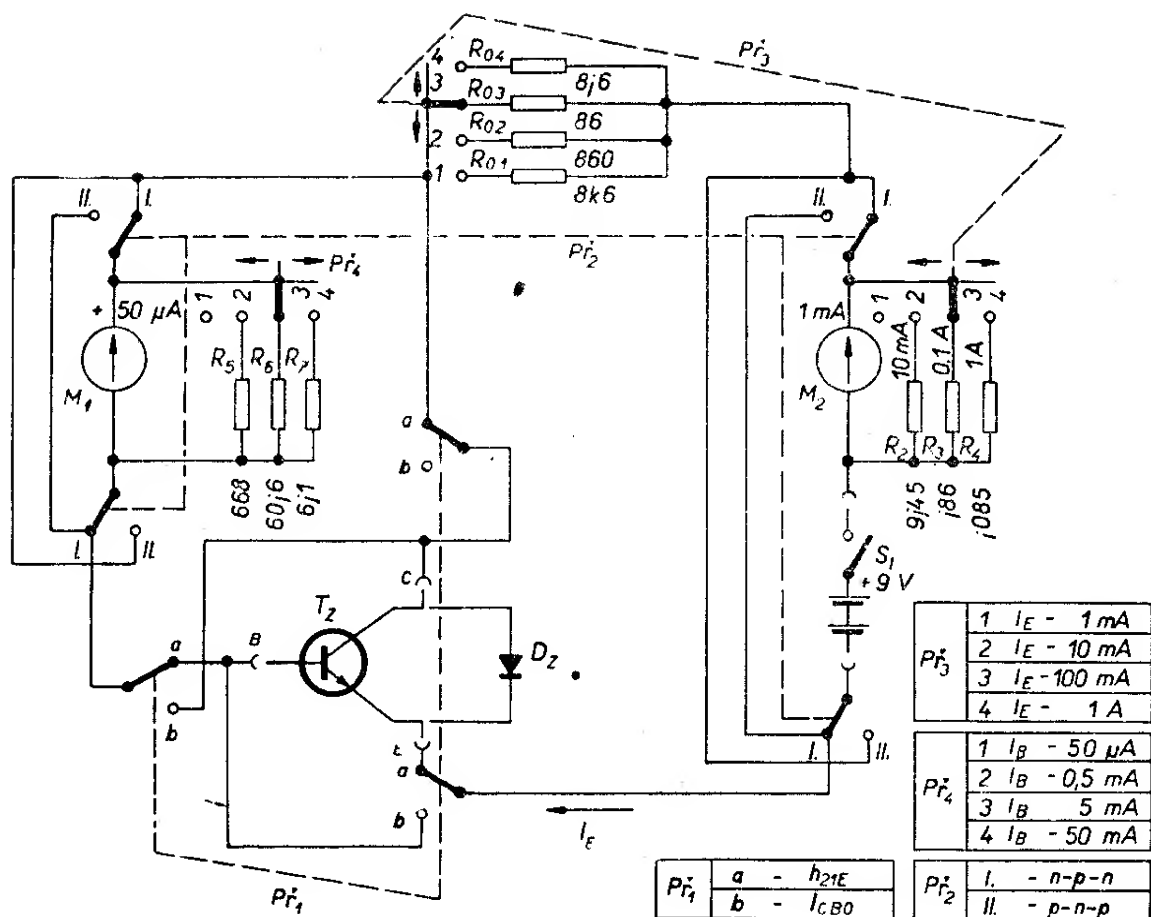
K obsluze tohoto rozšířeného měřiče

budiž ještě řečeno, že velikost činitele h_{21E} , jak ji indikuje ručka měřidla M_1 , platí pouze tehdy, mají-li přepínače $Př_3$ a $Př_4$ stejnou polohu, např. „2“ (tzn. $Př_3$ nařazen na rozsah 10 mA a $Př_4$ na rozsah 0,5 mA). V jiném případě je nutno zjištěný zesilovací činitel násobit nebo dělit deseti (např.: přepínač $Př_3$ v poloze „3“ na rozsahu 100 mA, přepínač $Př_4$ v poloze „2“ na rozsahu 0,5 mA, ručka měřidla M_1 někde v pravé polovině stupnice. Pak je nutno údaj h_{21E} násobit deseti, aby byla zachována platnost vztahů podle rovnice (8). Naopak, je-li přepínač $Př_3$ v poloze „n-1“ a $Př_4$ v poloze „n“, kde $n = 2$ až 4, je nutno zjištěný činitel h_{21E} dělit deseti). Tato skutečnost umožňuje měnit základní rozsah měření činitele h_{21E} (20 až 500) např. na nižší (2 až 50), popř. vyšší (200 až 5 000). Provedení rozšířeného měřiče tranzistorů

je na obr. 17. (Obr. 15 a 17 jsou na 2. str. obálky).

Závěrem ještě tabulka průběhu činitele h_{21E} v závislosti na I_B na základním rozsahu 50 μA měřidla M_1 .





Obr. 16. Rozšíření zapojení měřiče tranzistorů pro zkoušení při stupňovitě proměnném kolektorovém proudu

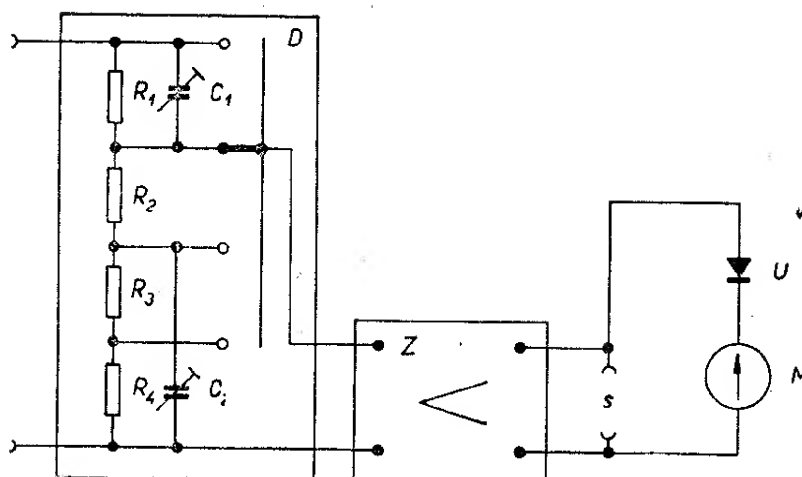
Tab. 1. Průběh zesilovacího činitele h_{21E}

h_{21E}	I_B	h_{21E}	I_B
20	47,6	85	11,62
25	38,5	90	11,0
30	32,3	95	10,42
35	27,8	100	9,9
40	24,4	120	8,27
45	21,7	140	7,1
50	19,6	160	6,22
55	17,85	180	5,53
60	16,4	200	4,98
65	15,15	250	3,99
70	14,1	300	3,32
75	13,15	400	2,5
80	12,35	500	2,0
		1 000	1,0

Elektronické voltmetry

Elektronické voltmetry (EV) patří mezi základní měřicí přístroje, jimiž by mělo být vybaveno každé řádné pracoviště. (Dříve velmi běžný název „elektronkový voltmetr“ se v moderní technické literatuře nahrazuje výrazem „elektronický voltmetr“. To proto, že se voltmetr, jehož koncepce odpovídá blokovému schématu z obr. 19 nebo 18, vyrábí jak v elektronkové, tak i tranzistorové verzi). Podle druhu zpracovávaného napětí je dělíme na stejnosměrné a střídavé. Střídavé pak se dále dělí podle kmitočtu měřeného napětí na nízkofrekvenční (pro měření napětí tónových kmitočtů v pásmu 20 Hz až 100 kHz) a vysokofrekvenční (pro měření střídavých napětí o kmitočtech zasahujících zpravidla do desítek až stovek MHz). Základní vlastností všech

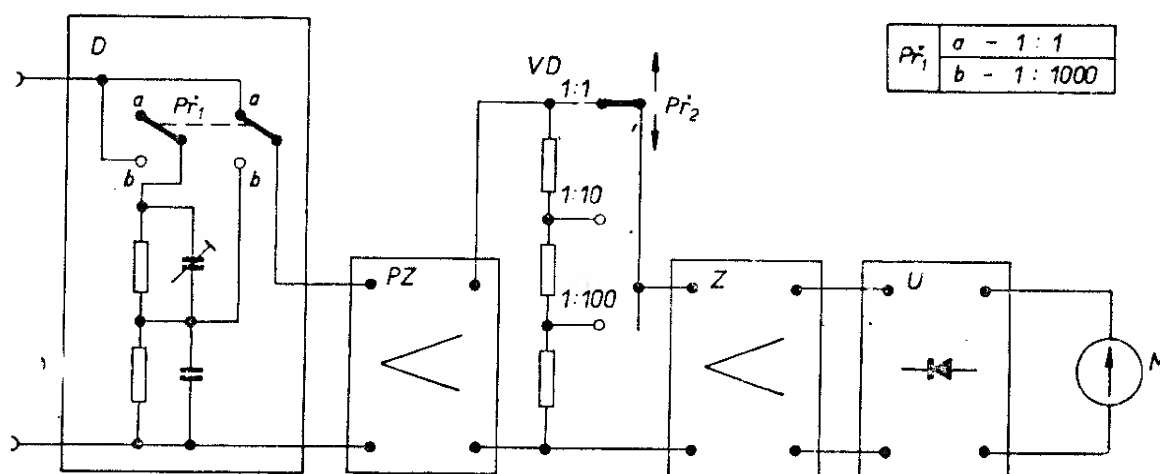
Obr. 18. Blokové zapojení elektronického voltmetru. *D* – vstupní dělič s velkým odporem a s kmitočtovou kompenzací, *Z* – měřicí zesilovač, *U* – usměrňovač, *M* – měřidlo, *s* – svorky pro připojení kontrolního osciloskopu nebo pro jiné využití měřicího zesilovače



uvedených elektronických voltmetrů je velká vstupní impedance (takže lze jimi měřit při nepatrném nebo zanedbatelném zatížení měřené soustavy), značná citlivost (takže je jimi možno měřit velmi malá napětí – řádu jednotek až stovek mV) a v neposlední řadě i odolnost proti přetížení.

Blokové schéma elektronického voltmetru k měření střídavých napětí je na obr. 18. Skládá se ze vstupního napětového děliče *D*, měřicího zesilovače *Z* stabilizovaného silnou zápornou zpětnou vazbou a vlastního měřidla *M* s usměrňovačem *U*. Napětový dělič se skládá z několika odporů, jimiž se zmenšují

příliš velká měřená napětí na úroveň vhodnou pro zesilovač. Voltmetry určené k měření vf napětí mají kompenzovány nežádané kapacity vstupu a napětového děliče malými přidavnými kondenzátory, neboť vstupní impedance zesilovače bývá vlivem jeho vstupní kapacity v oblasti vysokých kmitočtů srovnatelná s impedancí děliče, zvláště v jeho středních polohách. Je tomu tak proto, že na rozsahu *EV* s největší citlivostí působí vstupní kapacita pouze zmenšení vstupní impedance přístroje, avšak údaj měřidla odpovídá napětí na vstupních svorkách. Je-li zapojen druhý kontakt přepínače napětového děliče (menší cit-

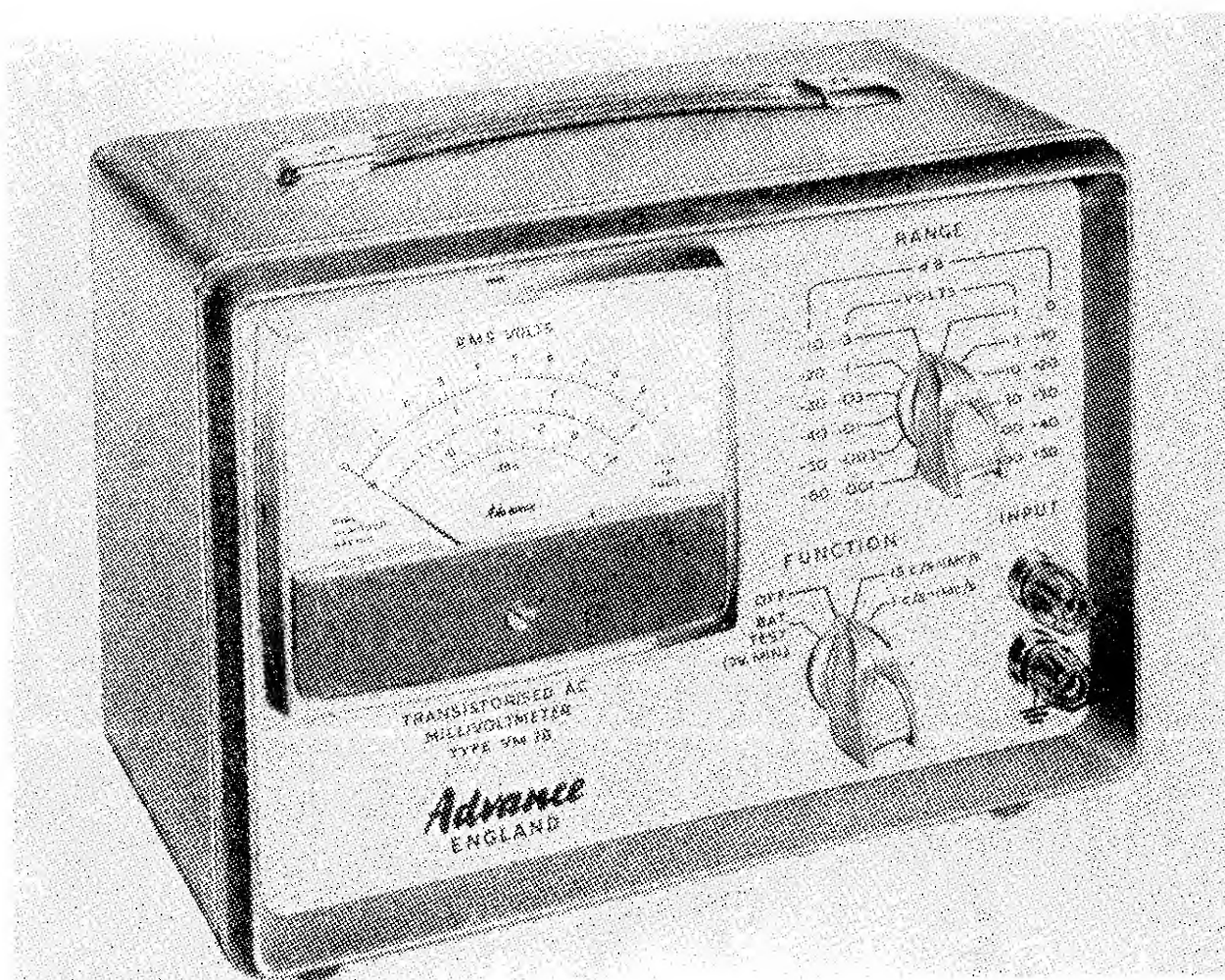


Obr. 19. Alternativa zapojení elektronického voltmetru. *D* – vstupní napětový dělič s kompenzací, *PZ* – předzesilovač, *VD* – vnitřní napětový dělič, *Z* – měřicí zesilovač, *U* – usměrňovací obvod (obvykle zapojen v pasivní části zpětnovazební smyčky měřicího zesilovače), *M* – měřidlo, *Pr₁* – přepínač vstupního děliče s polohami 0 dB až –60 dB, *Pr₂* – přepínač vnitřního děliče se skoky po 20 dB (popř. po 10 dB)

livost), je zesilovač připojen k měřené soustavě přes značný odpor horního členu děliče (R_1), na němž by se bez kompenzace kondenzátorem C_1 v oblasti vysokých kmitočtů zmenšilo výstupní napětí. Kompenzační kondenzátor C_1 tak tvoří se vstupní kapacitou děliče napětí se zeslabením (útlumem), odpovídajícím zeslabení odporového vstupního děliče. Je-li zapojen třetí kontakt, kde je již impedance děliče dostatečně malá (vzhledem ke vstupu zesilovače), zvýšilo by se vlivem kondenzátoru C_1 napětí v oblasti vysokých kmitočtů. Tento nežádáný vzestup se opět kompenzuje kondenzátorem C_2 připojeným ke třetímu kontaktu děliče.

U voltmetrů pro větší kmitočtový rozsah se obvykle volí děliče dva. První

(vstupní) dělič má obvykle jen dvě polohy, zatímco druhý, zařazený za předzesilovačem s poměrně malou výstupní impedancí, má polohy odpovídající skokům po 20 nebo 10 dB (obr. 19). Výhoda tohoto řešení spočívá jednak v tom, že kompenzace vstupního děliče je značně snazší (jen dva odpory) a jednak není třeba druhý dělič (vzhledem k jeho malé impedanci) vůbec kompenzovat. Oba děliče jsou na sobě nezávislé a jejich přepínači ($Př_1$ a $Př_2$) lze dosáhnout různých kombinací. U moderních přístrojů jsou přepínače provedeny zpravidla jako tlačítka; setkáváme se však též s konstrukcemi, kde vstupní přepínač $Př_1$ je spřažen (mechanicky) s přepínačem $Př_2$ vnitřního děliče (obr. 21) a ovládán jedním knoflíkem.



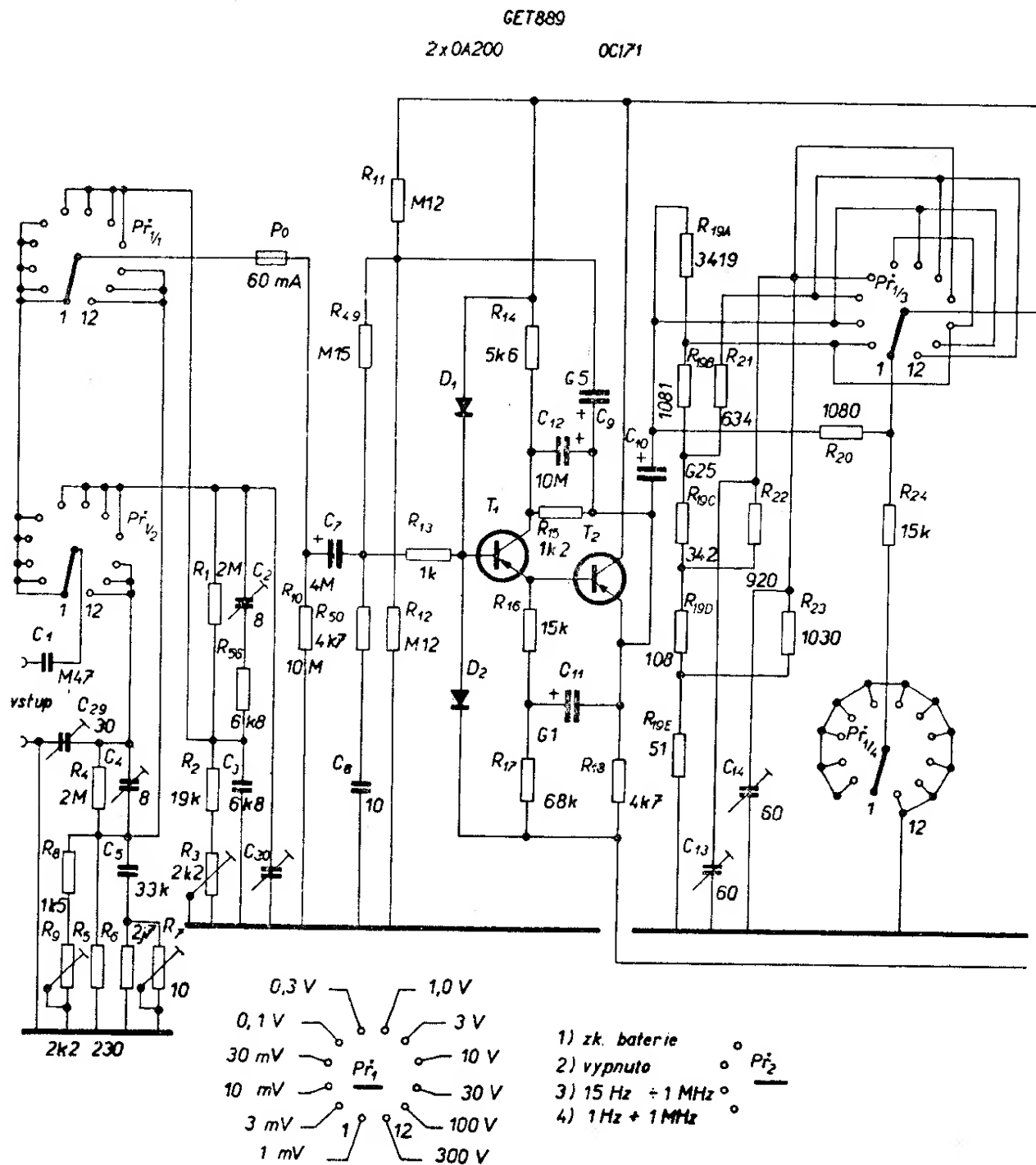
Obr. 20. Sedmitranzistorový nf milivoltmetr VM78 firmy Advance (Anglie). Všimněte si lineárního průběhu stupnice, která je výsledkem promyšleného zapojení měřícího zesilovače a kombinace záporné a kladné zpětné vazby

Sedmitranzistorový nf milivoltmetr VM78

Jako první ukázkou špičkového měřicího přístroje uvádím výrobek britské firmy Advance a sice nf milivoltmetr VM78 (obr. 20). Koncepce jeho zapojení odpovídá blokovému schématu z obr. 19. Tento měřicí přístroj má dvanáct měřících rozsahů, takže jím lze měřit střídavé napětí od 0,1 mV (na prvním roz-

sahu do 1 mV) do 300 V v kmitočtovém pásmu 1 Hz až 1 MHz s přesností $\pm 3\%$. Vstupní impedance je na všech rozsazích 2 M Ω , vstupní kapacita je 60 pF. Stupnice měřidla je cejchována v efektivních hodnotách od 0 do 1 a od 0 do 3, v logaritmické míře od -12 dB do +2 dB, přičemž 0 dB odpovídá napětí 0,775 V (což odpovídá výkonu 1 mW na odporu 600 Ω).

Vzhledem k tomu, že jednotlivé polohy přepínače rozsahů odpovídají skokům po



že na rozsahu 1 V je v určitém místě indikována úroveň 0 dB, můžeme ostatní rozsahy označit kladnými nebo zápornými násobky 10 dB: 1 mV \equiv -60 dB; 3 mV \equiv -50 dB; 10 mV \equiv -40 dB; 30 mV \equiv -30 dB, 100 mV \equiv -20 dB; 300 mV \equiv -10 dB; 1 V \equiv 0 dB; 3 V \equiv +10 dB; 10 V \equiv +20 dB; 30 V \equiv +30 dB; 100 V \equiv +40 dB; 300 V \equiv +50 dB. Při měření útlumu se proto čte výchylka indikovaná ručkou měřidla

1S916 1S916

(Podle Instruction Manual fy Advance Electronics Ltd.)

na decibelové stupnici a přičítává se k ní nebo odčítá se od ní desítkový údaj podle toho, na jakém měřicím rozsahu se měří. Např.: ručka indikuje výchylku $+6$ dB; protože se měří na rozsahu 300 mV, odečítá se 10 dB. Útlum vzhledem ke zvolené nulové úrovni je tedy $+6 - 10 = -4$ dB).

Přístroj je napájen bateriemi Mercury s dlouhou životností (asi 350 hod.). Jejich použitím – místo síťového zdroje – se dosahuje lepšího odstupu, čímž se současně (při použití tranzistorů s malým šumem na vstupu) umožňuje měření velmi malých napětí řádu stovek mikrovoltů.

Nf milivoltmetr VM78 se skládá z těchto částí:

1. vstupní kompenzovaný dělič,
2. dvoustupňový „transformátor“ impedance tvořený tranzistorovým výkonovým předzesilovačem,
3. vnitřní dělič s malou impedancí, mechanicky spřažený se vstupním dělicem a
4. stejnosměrně vázaný měřicí zesilovač s usměrňovači a měřidlem.

Vstupní dělič s přepínačem $P\check{r}_1$ pracuje tak, že v prvních pěti polohách (tj. na rozsazích 1 mV až $0,1$ V) se přivádí měřený signál přes oddělovací kondenzátor C_1 přímo na vstup dvoustupňového předzesilovače s velkou impedancí. Předzesilovače tvoří tranzistory T_1 a T_2 . V dalších čtyřech polohách přepínače (tj. na rozsazích $0,3$ V až 10 V) je vstupní signál zmenšen na $1/100$ své velikosti dělicem R_1 , R_2 a R_3 . V posledních třech zbývajících polohách přepínače (tj. na rozsazích 30 V až 300 V) je vstupní signál zmenšen na jednu desetitisícinu své velikosti, než je přiveden na vstup předzesilovače. Vstupní signál zmenšují v tomto případě odpory R_4 , $R_8 + R_9$ a R_5 (obr. 21).

Předzesilovač je osazen dvěma tranzistory zapojenými jako emitorové sledovače v kaskádě (vzájemně stejnosměrně vázané), mezi nimiž je zavedena záporná zpětná vazba. Tato vazba je vedena z emitoru T_2 do kolektoru T_1 přes odpor R_{15} a kondenzátor C_{12} . Jejím účinkem se dosahuje zvlášť velká vstupní impedance (řádu jednotek M Ω). Diody D_1 a D_2 jsou součástí vstupního obvodu tranzistoru T_1 a tvoří současně ochranu proti přetížení

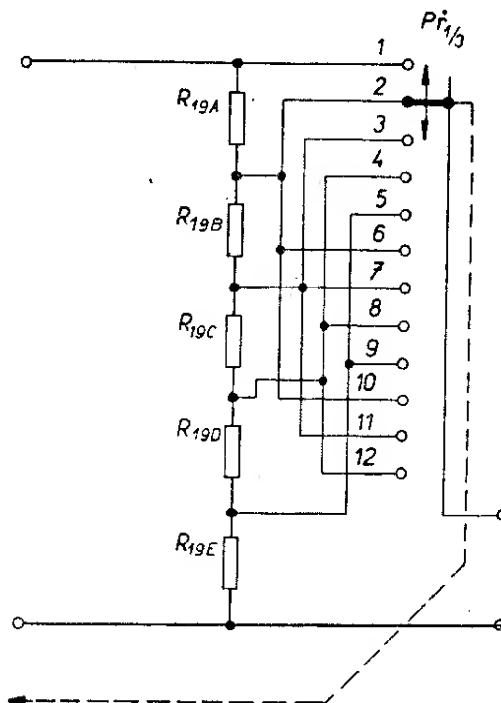
při chybné volbě měřicího rozsahu. Obdobný ochranný účinek má i odpor R_{18} .

Ochrana proti přepětí působí do špičkového napětí 400 V na rozsahu $0,3$ V a vyšších; na rozsahu $0,1$ V a na nižších rozsazích do efektivního napětí 100 V. Trvá-li přepětí déle než několik vteřin, odpojí se vstupní obvod přístroje od měřeného přerušením tavné pojistky Po (dimenzované pro maximální proud 60 mA).

Vnitřní dělič je tvořen odpory R_{19} až R_{24} včetně sekcí spřaženého přepínače $P\check{r}_{1/3}$ a $P\check{r}_{1/4}$. Jeho funkce je patrná ze zjednodušeného schématu na obr. 22. Vzhledem k tomu, že pracovní oblast tohoto měřicího přístroje sahá až do kmitočtu 1 MHz, je kmitočtově kompenzován i vnitřní dělič.

Měřicí zesilovač je čtyřstupňový a je též vázan stejnosměrně. Je připojen na výstup vnitřního dělice vazebním kondenzátorem C_{15} . Použití zpětných vazeb zaručuje jeho stálý zisk v celém kmitočtovém pásmu a tím lineární průběh stupnice měřidla M_1 .

V zapojení popisovaného nf milivoltmetru (obr. 21) jsou vyznačeny některé odpory a kondenzátory jako proměnné. To proto, že slouží k nastavení přístroje



Obr. 22. Zjednodušené zapojení přepínače rozsahů $P\check{r}_{1/3}$ a $P\check{r}_{1/4}$ ze schématu na obr. 21

do optimálních pracovních podmínek (jsou nastaveny výrobcem). Tak např.: R_{47} slouží k nastavení koncové výchylky ručky měřidla pro testování baterií. Odporovým trimrem R_{38} se nastavuje správné přepětí báze T_7 (jemuž odpovídá kolektorové napětí - 2,2 V proti zemi) a trimrem R_{44} je na základním rozsahu seřizena výchylka ručky na maximum podle signálu 1 mV/1 kHz.

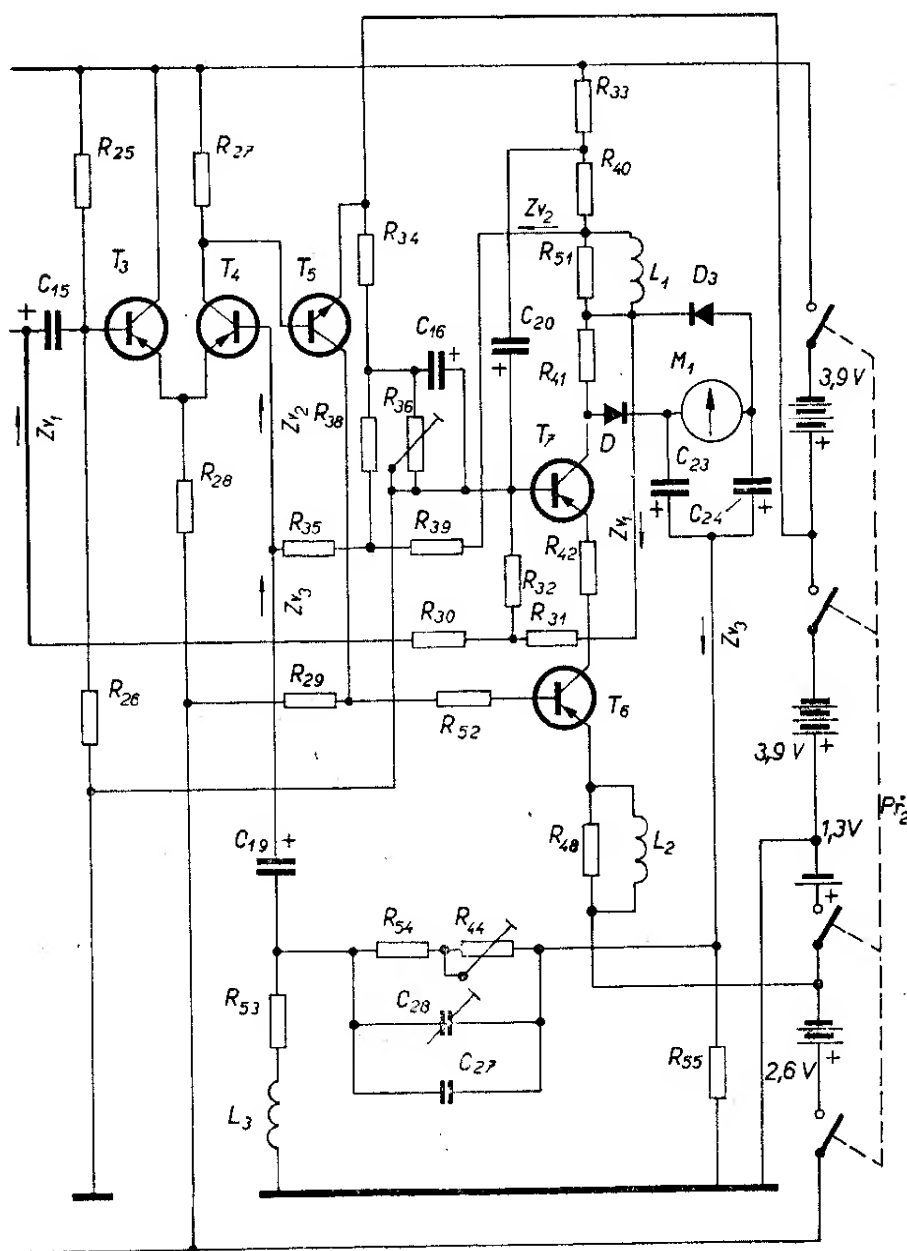
Ve vstupním děliči se trimrem R_3 na rozsahu 0,3 V při buzení sinusovým signálem o kmitočtu 1 kHz (z generátoru s malou výstupní impedancí) o úrovni 0,3 V seřizuje odpovídající maximální výchylka

měřidla. Na rozsahu 30 V slouží k obdobnému vyrovnání odporový trimr R_9 . Na téže rozsahu, avšak při buzení signálem o kmitočtu 1 MHz, slouží k vyvážení a dosažení shody (mezi napětovou úrovní přiváděného signálu a velikosti výchylky ručky) v mezích $\pm 3\%$ odporový trimr R_7 .

Na horní hranici pracovní kmitočtové oblasti, tj. na kmitočtu 1 MHz slouží k vyvážení následující kondenzátorové trimry:

C_{28} na rozsahu 3 mV při buzení signálem o úrovni 3 mV,

C_{13} na rozsahu 30 mV při buzení signálem o úrovni 30 mV,



Obr. 23. Zjednodušené zapojení měřicího zesilovače VM 78 včetně usměrňovače D_3 , D a měřidla M_1

C_{14} na rozsahu 100 mV při buzení signálem o úrovni 100 mV,

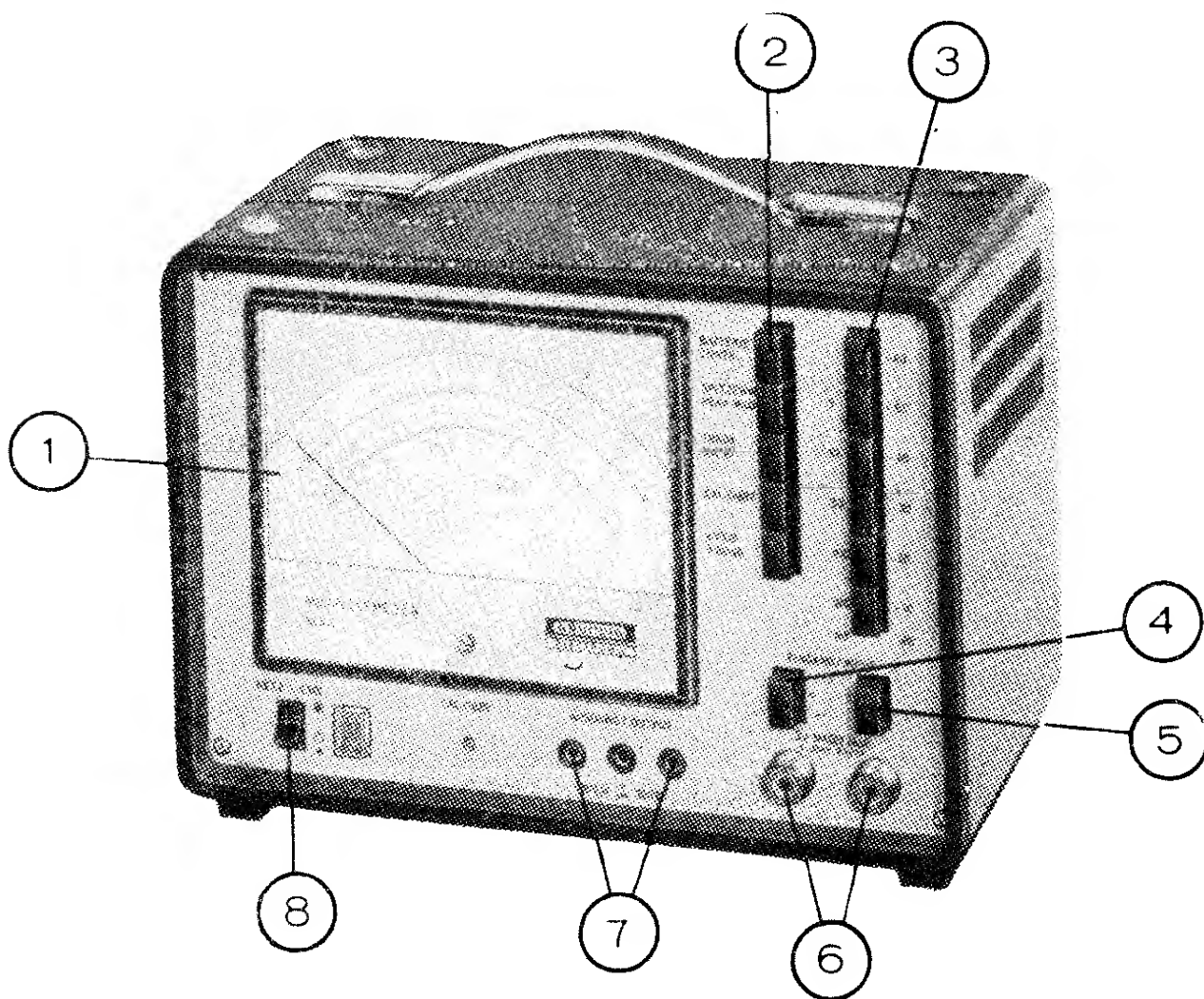
C_2 a C_{39} na rozsahu 3 V při buzení signálem o úrovni 3 V a

C_{29} a C_4 na rozsahu 30 V při buzení signálem o úrovni 30 V.

Záporná zpětná střídavá vazba Zv_1 (obr. 23) je zavedena z výstupu měřicího zesilovače (z kolektorového odporu R_{41}) přes odpory R_{31} a R_{30} na jeho vstup. Stejnoseměrná zpětná vazba (Zv_2) je zavedena dále z výstupu přes odpory R_{39} a R_{35} na bázi T_4 , který je vázán se vstupním tranzistorem T_3 společným emitorovým odporem R_{28} . Další vazba (Zv_3) je zavedena přes obvod měřidla M_1 z výstupu zesilovače a její smyčka je vedena ze společné-

ho bodu kondenzátorů C_{23} a C_{24} přes odpory R_{44} a R_{54} a kondenzátor C_{19} na bázi T_4 . Tato vazba je kmitočtově závislá v důsledku přemostění odporů R_{44} a R_{54} kondenzátory C_{27} a C_{28} a použitím příčného členu R_{53} a L_3 .

Přístroj je dále vybaven přepínačem funkcí Pr_2 , jímž se též odpojují baterie při vypnutí z provozu (poloha „2“). V poloze „1“ tohoto přepínače se kontroluje stav vestavěných baterií měřidlem M_1 . (Tehdy se měřidlo M_1 , zapojené v sérii s odpory R_{47} , R_{46} a R_{45} , využívá jako stejnosměrný voltmetr, obr. 21). Baterie jsou ještě použitelné, nepoklesne-li ručka pod údaj 0,7 (na stupnici s dělením 0 až 1). V poloze „3“ pracuje přístroj v kmitočtovém roz-



Obr. 24. Tranzistorový nf milivoltmetr MV 4 (Grundig-Electronic). 1 – širokoúhlé měřidlo (100°), 2 – pětitačkový přepínač funkcí (kontrola napětí baterie, měření efektivního nebo špičkového napětí, tlumení, kalibrace 0 dB, +60 dB), 3 – šestitačkový přepínač napěťových rozsahů, 4 – uzemnění vstupu „a“, 5 – uzemnění vstupu „b“, 6 – vstupní svorky „a“ a „b“, 7 – symetrický výstup s impedancí $2 \times 300 \Omega$, 8 – spínač

sahu 15 Hz až 1 MHz, na němž se běžně používá (této poloze přepínače P_2 odpovídá zjednodušené schéma měřicího zesilovače na obr. 23, který poskytuje přehlednější obraz o výše zmíněných zpětných vazbách a o zapojení zesilovače). V poloze „4“ pracuje přístroj v kmitočtovém rozsahu 1 Hz až 1 MHz. Tak široký kmitočtový rozsah vyžaduje ovšem pro nezkreslený přenos nízkých kmitočtů značně velkou časovou konstantu vazebních členů RC . Z tohoto důvodu jsou na tomto rozsahu zvětšeny kapacity stávajících kondenzátorů o kapacity přidavných kondenzátorů C_{21} , C_{25} , C_{18} a C_{17} . Před započítím měření na tomto rozsahu je však nutno vyčkat asi 1 a $\frac{1}{2}$ minuty, než se ustálí stejnosměrný náboj na elektrolytických kondenzátorech. Teprve potom lze přikročit k měření. Nepožaduje-li se měření pod kmitočtem 15 Hz, doporučuje se používat přístroj v poloze „3“, v níž jsou odpojeny přidavné kapacity, čímž se zvětší rychlost odezvy měřidla (tj. ustálení ručky) a zrychlí měření.

Nf milivoltmetr MV 4

Nf milivoltmetr Grundig MV 4 (obr. 24) je celotranzistorový měřicí přístroj určený k měření střídavých napětí od 100 μV do 300 V v kmitočtovém pásmu 5 Hz až 1 MHz. Může být napájen ze sítě, nebo z vestavěných niklokaadmiových akumulátorů. Napájení z vestavěného zdroje je potřebné nejen tam, kde chybí síť, ale hlavně v těch případech, kdy by se při měření malých signálů nežádáně uplatňoval vliv síťového napětí (menší odstup v důsledku brumu z nedokonalé

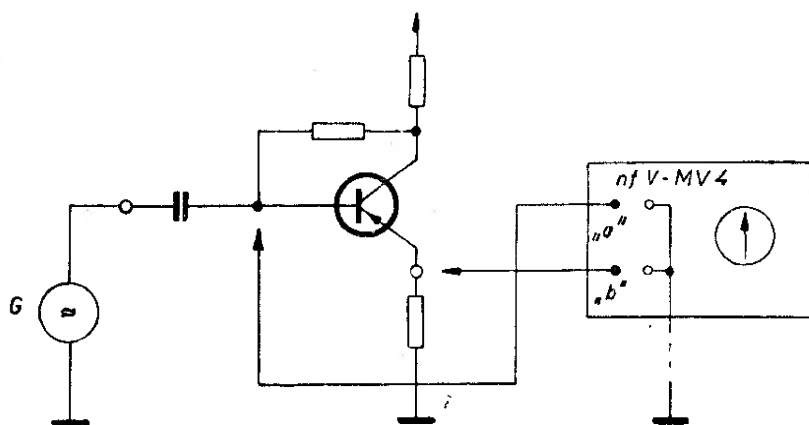
filtrace). Zvláštním rysem tohoto přístroje je, že jím lze (v důsledku dvou vstupů a symetrické koncepce) měřit střídavá napětí mezi dvěma body při společném zemnění obou přístrojů – tj. zkoušeného a měřicího (obr. 25). (To má význam při měření zvláště malých střídavých napětí při dodržení velkého odstupů a tím i poměrné přesnosti).

Koncepce přístroje tedy odpovídá schématu na obr. 19 s tím rozdílem, že je zdvojená; má tedy dva vstupy, na něž navazuje rozdílový zesilovač s dvěma výstupy; k výstupům za odpory R_{333} a R_{336} je připojen měřicí obvod. Impedance každého vstupu je 1 M Ω . Při měření jsou výsledky stejné, použije-li se prvního vstupu (svorka „a“ a zem), nebo druhého vstupu (svorka „b“ a zem), či obou vstupů (svorka „a“ a „b“, zemnicí spoj odpadá). V posledně jmenovaném případě se pouze počítá velikost vstupní impedance; činí pak 2 M Ω .

Výsledky jsou indikovány na měřidle s úhlem výchylky rozšířeným na 100° a to v efektivních hodnotách, popř. po sepnutí tlačítkového přepínače P_1 ve špičkových hodnotách.

Celkové zapojení tohoto měřicího přístroje v poněkud zjednodušené formě (vypuštěním shodných součástí děličů vstupu „b“ pro lepší přehlednost) je na obr. 26. Jak je patrné, lze jej využívat též ve funkci měřicího zesilovače s výstupním napětím 2×65 mV na impedanci $2 \times 300 \Omega$.

Základní přepínač rozsahů je tlačítkový. Má šest tlačítek, z nichž může být zapojeno vždy jen jedno pro požadovaný rozsah (jsou mechanicky spřažena). Ovlá-



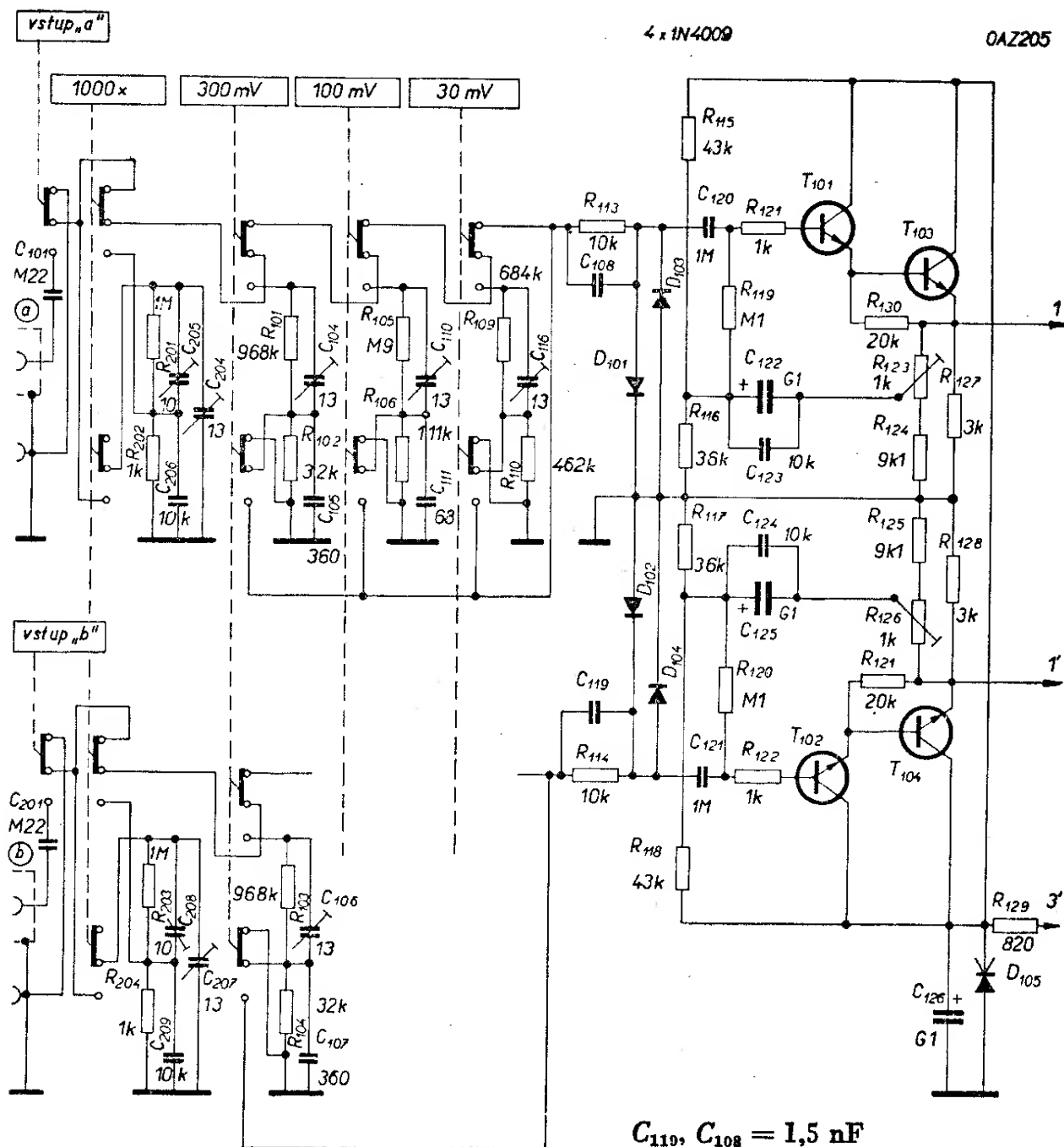
Obr. 25. Princip připojování milivoltmetru (s využitím symetrického vstupu) při měření mezi dvěma body (nikoli proti zemi). V tomto případě nemusí být měřicí přístroj uzemněn či spojen se zkoušeným objektem zemnicím spojem

BC109 BFY37

BC109 BFY37

4 x 1N4009

0A2205

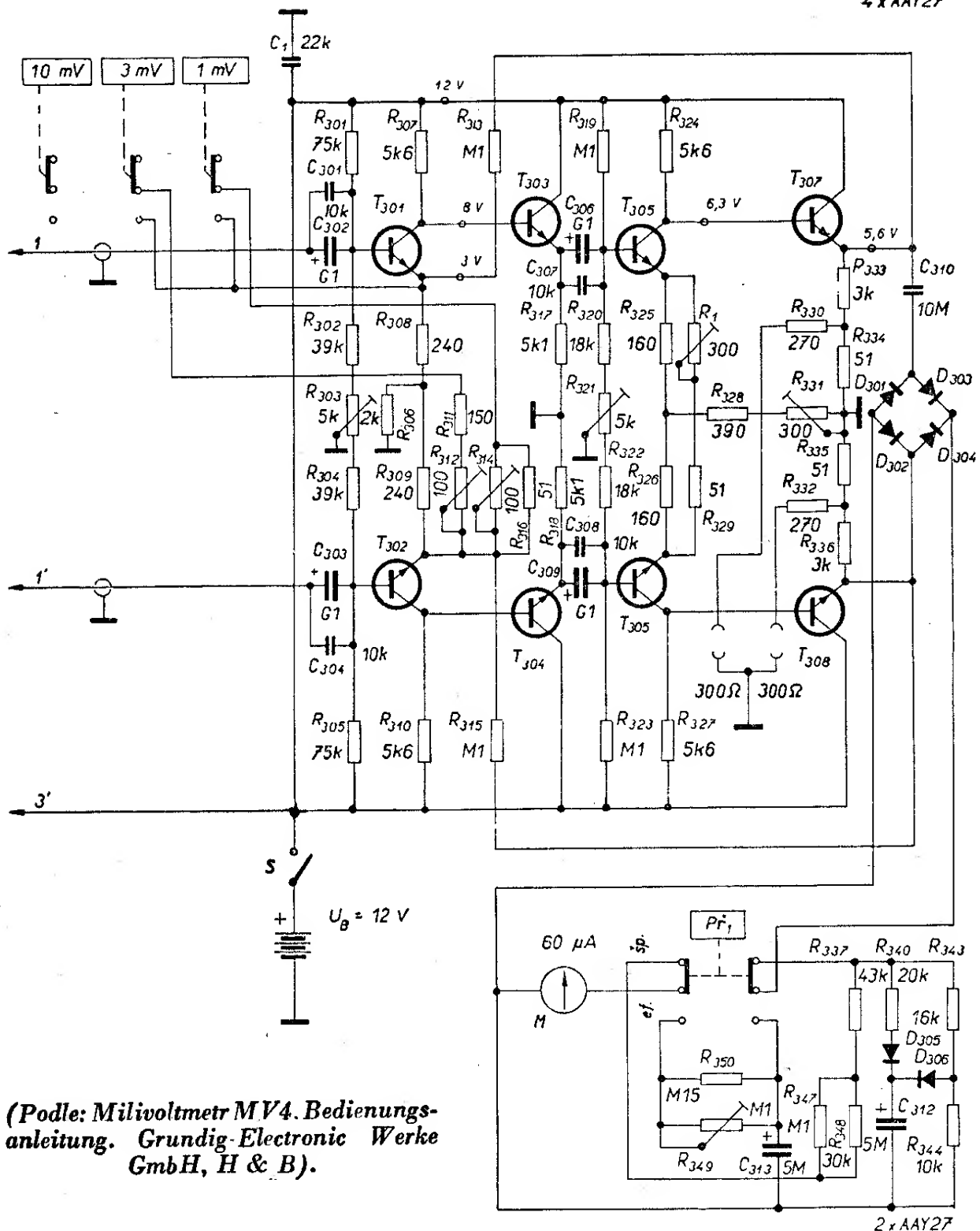


dají se jimi tyto rozsahy: 1 mV, 3 mV, 10 mV, 30 mV, 100 mV a 300 mV ve skocích po 10 dB. První tři tlačítka ovlivňují citlivost přístroje tím způsobem, že přepínají stupeň záporné zpětné vazby napěťového (hlavního, měřicího) zesilovače. Ostatní tři přepínají ke vstupu vždy příslušnou dvojici odporů, tj. vhodně kmitočtově kompenzovaný dělič. Další samostatné tlačítko označené „1000x“ po

stlačení snižuje nastavenou citlivost přístroje o 60 dB. Tak lze získat z výše uvedených rozsahů dalších šest, a sice: 1 V, 3 V, 10 V, 30 V, 100 V, 300 V.

K dosažení velkého vstupního odporu vstupů „a“ a „b“ slouží měniče impedance osazené křemíkovými tranzistory T_{101} , T_{103} a T_{102} , T_{104} . (Velkého vstupního odporu se dosahuje tím, že část výstupního napětí se z těchto měničů přivádí na dělič

$$26 \cdot \frac{5}{69} R_K$$



Obr. 26. Celkové schéma nf milivoltmetru MV 4 Grundig-Electronic. Pro lepší přehlednost byly vypuštěny obvody kalibrace, tlumení a kontroly napětí (Spodní tranzistor T_{306} má být správně T_{308})

předpětí pro báze R_{115} , R_{116} a R_{117} , R_{118} . A protože toto napětí je stejné fáze jako měřené napětí, uplatní se za bázevými odpory R_{119} a R_{120} vlastně jejich rozdíl. Tím je vstupní střídavý proud podstatně zmenšen, což odpovídá zvětšení vstupního odporu). Měníče pracují s velmi malým kolektorovým proudem, což má příznivý vliv na šumové vlastnosti předzesilovače. Kolektorové napětí je stabilizováno Zenerovou diodou D_{105} (na 7,6 V).

Protože je ze zkušenosti známo, že při měření může dojít k přetížení v důsledku chybně nastavené citlivosti (špatný měřicí rozsah), jsou ke vstupu T_{101} a T_{102} připojeny dvojice opačně pólovaných diod (D_{101} , D_{103} a D_{102} , D_{104}), které chrání vstupní tranzistory. Tak je možno při rozsahu 1 mV přivést na vstup přístroje až 100 V, aniž by došlo k jeho poškození.

Měřený signál po projití předzesilovačem postupuje na vstup souměrného hlavního zesilovače (přes oddělovací kondenzátory $C_{301} + C_{302}$ a $C_{303} + C_{304}$ na báze tranzistorů T_{301} a T_{302}). Hlavní zesilovač je osazen osmi křemíkovými tranzistory. Jeho zesílení lze nastavit prvními třemi tlačítky (1 mV, 3 mV, a 10 mV), jimiž se upravuje stupeň záporné zpětné vazby tak, že na zvoleném rozsahu se dosáhne pro odpovídající vstupní signál vždy konečné výchylky ručky měřidla.

Druhý stupeň hlavního zesilovače tvoří tranzistory T_{303} a T_{304} , které jsou zapojeny opět jako měniče impedance a budí následující – předposlední zesilovací stupeň (T_{305} a T_{306}). Koncový stupeň je navázán stejnosměrně na své budiče T_{305} a T_{306} . V jejich emitorové větvi je odporový trimr R_{331} , jímž je nastaven jejich správný pracovní bod. Další odporový trimr, jímž jsou uzemněny dolní členy děličů bázevých předpětí (R_{321}), slouží k nastavení symetrie. K stejnému účelu slouží i odporový trimr R_{303} .

Koncový stupeň tvoří emitorové sledovače T_{307} a T_{308} , z jejichž emitorů se přivádí měřený signál na můstkový usměrňovač D_{301} až D_{304} (a odtud na měřidlo), jakož i na výstupní svorky přes oddělovací odpory R_{330} a R_{332} .

Odporové trimry R_{312} a R_{314} slouží ke kalibraci výchylky měřidla na rozsazích 3 mV a 1 mV.

Vazební kondenzátory (např. C_{122} a C_{123} , $C_{301} + C_{302}$ či $C_{306} + C_{307}$ atd.) jsou zdvojeny proto, že měřicí přístroj je určen k měření v poměrně širokém kmitočtovém pásmu (až do 1 MHz). Úkolem styroflexových nebo polystyrénových kondenzátorů (tj. s pevným dielektrikem) je zamezit nežádanému útlumu signálu v elektrolytických kondenzátorech (ty nejsou pro přenos měřeného signálu s vyšším kmitočtem vhodné).

Popisovaný nf milivoltmetr je dále vybaven vestavěným generátorem cejchovacího napětí, který se skládá z multivibrátoru a omezovacího stupně. Ovládá se zvláštním tlačítkem („kalibrace“), jímž se generátor uvádí v provoz. Signál generátoru se přivádí na vstup milivoltmetru pro kalibrační účely. V zapojení na obr. 26 není tento obvod ani příslušné tlačítko nakresleno, neboť není podstatné a zhoršovalo by přehlednost celého schématu.

Tlačítka („vstup A“ a „vstup B“) se uzemňuje ten vstup, který se právě nepoužívá. Další tlačítko (obr. 24) slouží ke kontrole napětí vestavěných baterií. Po jeho stisknutí se odpojí měřidlo od zesilovače a připojí přes předřadný odpor k bateriím a indikuje jejich stav. Posledním tlačítkem z pětidílného přepínače funkcí se zavádí dodatečné tlumení měřidla pro měření napětí na velmi nízkých kmitočtech (v okolí 20 Hz), popřípadě nf napětí se složkami ležícími pod tímto kmitočtem (1 až 2 Hz).

Zdrojem proudu jsou dvě niklo-kadmiové baterie o úhrnném napětí 12 V, které lze vyjmout z přístroje i se speciálně upraveným (zasouvacím) držákem, popř. síťový napáječ shodného tvaru pro zasouvání do přístroje zezadu. Napáječ slouží i jako nabíječ niklo-kadmiových akumulátorů. Vzhledem k tomu, že odběr měřicího přístroje je za provozu jen 16 mA (při cejchování 24 mA), vystačí se s kapacitou baterie pouze 225 mAh, což odpovídá čtrnácti hodinám trvalého provozu měřicího přístroje. Příkon síťového napáječe (i s indikační žárovkou) je asi 5 W.

K funkci přístroje je ještě třeba poznamenat, že jak první dvě dvojice tranzistorů předzesilovače, tak i dvojice tranzistorů hlavního zesilovače jsou spolu navzájem vázány. Nf signál na bázi tranzis-

toru T_{301} (např. při měření prostřednictvím vstupní zdířky „a“ a země) vyvolá proto odpovídající zesílení nejen na kolektorovém odporu R_{307} , ale – vzhledem k vazbě společným emitorovým odporem – i na kolektorovém odporu R_{310} „dolního“ tranzistoru T_{302} . Obdobným způsobem se uplatní i emitorový odpor $R_{328} + R_{331}$ stupně, tvořeného tranzistory T_{305} a T_{306} . Stejně pracuje zesilovač při přivádění nf signálu na druhý vstup, tj. na zdířku „b“ a zem. Je tedy zesilovač určitou obdobou diferenciálního (rozdílového) zesilovače, používaného u elektronických voltmetrů pro měření stejnosměrných napětí – viz dále.

Vstupní kapacita (každého vstupu) je 36 pF na rozsazích 30 mV až 300 V a asi 50 pF na rozsazích 1 mV až 10 mV.

Popsaný nf milivoltmetr patří mezi špičkové výrobky současné techniky v oboru měřicích přístrojů. To je též jeden z důvodů, pro který byl vybrán jako ukázka zapojení, jež v složitosti a počtu použitých polovodičů [12 tranzistorů + 3 (cech. obvod) a 10 diod] si nezádá s komerčními tranzistorovými přijímači nebo zesilovači.

Amatérská konstrukce nf milivoltmetru

V této kapitole bude popsána konstrukce amatérského nf milivoltmetru, jehož koncepce vyplynula jednak ze studia různých zahraničních materiálů (jako jsou výše uvedené konstrukce apod.), jednak z autorových vlastních návrhů a zkoušek.

Popis zapojení

Před časem jsem uveřejnil popis zapojení a konstrukce jednoduchého nf milivoltmetru, jehož vstupní impedance byla asi 0,6 M Ω (kromě prvních dvou napětových rozsahů). A právě na těchto rozsazích se malá vstupní impedance projevila velmi nepříznivě, např. v nemožnosti přímého proměřování vstupního napětí elektromagnetických a magnetodynamických vložek do přenosek. Proto jsem hledal takové zapojení, které by uvedenou nevý-

hodu úplně odstraňovalo; tzn. jehož vstupní impedance by byla řádu megaohmů na všech rozsazích.

Na obr. 27 je celkové zapojení „nové verze“ tohoto nf milivoltmetru. Jeho koncepce odpovídá blokovému schématu podle obr. 19. Měřený signál se přivádí stíněným kabelem na vstupní konektor, na který přímo navazuje přepínač $Př_1$ s děličem 1 : 1 000. Přepínač je tlačítkový a má dvě polohy. V první poloze prochází signál nezaslaben přímo na vazební kondenzátor C_1 prvního tranzistoru T_1 . V druhé poloze (při stisknutí tlačítka) je měřený signál zeslaben v uvedeném poměru vlivem děliče $R_{d1} + R_{d2}$. Dělič je pochopitelně kmitočtově kompenzován kondenzátory C_{z1} a C_{z2} .

Předzesilovač je dvoustupňový, stejnosměrně vázaný, s napětovým ziskem asi 0,95. Je osazen dvěma křemíkovými tranzistory s pokud možno co největším proudovým zesilovacím činitelem h_{21E} . (Hlavně T_1 musí mít co největší zesílení, neboť na něm závisí velikost vstupního odporu. Při osazení tranzistoru KF503 s $h_{21E} \geq 50$ lze dosáhnout vstupního odporu asi 2 M Ω). Tranzistory pracují v tzv. zapojení se sériovým napájením báze, přičemž emitorový odpor druhého tranzistoru T_2 představuje tzv. „vnitřní“ dělič s malou impedancí. Proto je emitorový odpor rozdělen na tři odpory ($R_5 + R'_5 + R''_5$). Z „horních“ vývodů těchto odporů jsou vedeny spoje k „vnitřnímu“ přepínači $Př_2$, který je opět tlačítkový. (Pro tento účel se dá s výhodou použít některý z tlačítkových přepínačů – náhradních dílů pro televizory či některé přijímače). Přepínač je třítlačítkový, přičemž všechna tlačítka jsou spolu mechanicky vázána. Tím je dáno, že při stisknutí kteréhokoli tlačítka jsou ostatní dvě rozpojena – tedy ve shodě s volbou požadovaného rozsahu.

Rozsahy jsou tři, 3 mV, 30 mV a 300 mV. Při kombinaci se vstupním děličem lze je změnit o 60 dB (tj. 1 000x), tedy na 3 V, 30 V a 300 V; takže měřidlo má celkový měřicí rozsah od 0,3 mV (první rozsah) až do 300 V (poslední rozsah).

Za „vnitřním děličem“ postupuje měřený nf signál přes oddělovací odpor R_6 na vazební kondenzátor C_5 (elektrolytický). K němu je připojen paralelně svitko-

vý kondenzátor C_4 , jenž zabraňuje nežádanému útlumu měřených signálů vysokých kmitočtů.

Za vazebním kondenzátorem začíná hlavní zesilovač, který je třístupňový. Je opět stejnosměrně vázaný, což má příznivý vliv na přenos nf signálu v oblasti nízkých kmitočtů (minimální kmitočtové zkreslení – vyrovnaná kmitočtová charakteristika již od 10 Hz).

Nf signál projde tranzistorem T_3 , kde je zesílen a pokračuje na bázi následujícího tranzistoru T_4 , kde je dále napětově zesílen. Oba tyto tranzistory pracují v zapojení se společným emitorem, zatímco poslední tranzistor T_5 pracuje jako emitorový sledovač, tj. v zapojení se společným kolektorem. Z emitoru T_5 se signál dostává přes kondenzátor C_9 a dvoupolohový páčkový přepínač $Př_3$ na můstkový usměrňovač a odtud na měřidlo.

Vzhledem k tomu, že se měřidlo s usměrňovacím obvodem nachází v pasívní části zpětnovazební smyčky (která je vedena z emitoru T_5 do emitoru T_3), je zápornou zpětnou vazbou příznivě linearizován průběh stupnice měřidla. Současně tato zpětná vazba stabilizuje zisk zesilovače, zvětšuje jeho vstupní odpor a zmenšuje jeho výstupní odpor a dále zmenšuje kmitočtové a tvarové zkreslení.

Vstupní odpor hlavního zesilovače je řádu desítek $k\Omega$ (je dán opět proudovým zesilovacím činitelem h_{21E} použitých tranzistorů), což se příznivě uplatňuje v minimálním zatížení předzesilovače, takže přepínání na jednotlivé rozsahy se zpětně neprojevuje jako změna zátěže tranzistoru T_2 .

Základní citlivost měřidla (a tudíž i rozsah 3 mV pro plnou výchylku) je nastavena stupněm zpětné vazby, tzn. velikostí odporu R_{12} . V našem případě vyhověl odpor 39 Ω ; odpor ovšem závisí na zesilovacích činitelech použitých tranzistorů.

Hlavní zesilovač je též tepelně stabilizován. Tuto stabilizaci umožňuje právě galvanické spojení tranzistoru T_3 s tranzistorem T_4 (stejnosměrná zpětná vazba). Zvětší-li se z nějaké příčiny kolektorový proud T_3 , zmenší se zvětšeným spádem napětí na odporu R_8 proud báze tranzistoru T_4 . Tím se ovšem zmenší úbytek na

pětí na jeho emitorovém odporu R_{14} , z něhož je odvozeno předpětí báze T_3 . Zmenší-li se předpětí báze T_3 , zmenší se okamžitě kolektorový proud T_3 přibližně na původní velikost. Stupeň stabilizace je dán poměrem odporů R_{10} a R_{14} a jejich velikostí. Odpor R_{10} se seřizuje pracovní bod tranzistorů na optimum. K stabilizaci hlavního zesilovače přispívá i emitorový odpor $R_{11} + R_{12}$ tranzistoru T_3 a emitorový odpor $R_{15} + R_{16}$ tranzistoru T_5 . Pracovní bod tranzistorů T_4 a T_5 lze nastavit též odporem R_9 , u tranzistoru T_5 pak změnou velikosti odporu R_{16} .

Měřicí obvod slouží též ke kontrole napětí vestavěné baterie. V druhé poloze páčkového přepínače $Př_3$ je připojen přes odpor R_{20} ke kladnému pólu baterie. Za tohoto stavu je do smyčky zpětné vazby vložen kmitočtově nezávislý člen, odpor R_{19} . Tím je i v této poloze přepínače $Př_3$ uzavřen obvod zpětné vazby, čímž jsou příznivé vlastnosti zesilovače zachovány. Nyní je možno používat nf milivoltmetr jako měřicí zesilovač. Jeho výstupní signál se odebírá z odporu R_{17} (proti zemi). Výstupní impedance je 300 Ω , výstupní napětí asi 0,45 V.

Výstupní signál lze odebírat z výstupních svorek i při výchozí poloze přepínače $Př_3$. Tehdy ovšem je tvar výstupního signálu poněkud deformován vlivem nelineárních charakteristik diod usměrňovacího členu D_1 až D_4 . Případné zkratování výstupních svorek nemá vliv na velikost a tvar výstupního signálu. Připojením osciloskopu k výstupním svorkám lze při měření současně sledovat tvar měřeného signálu. Při podezření na tvarové zkreslení lze pouhým přepnutím $Př_3$ kontrolovat tvar výstupního signálu (bez deformace vlivem diod D_1 až D_4). To má význam při zjišťování nf charakteristik zesilovačů buzených sinusovým signálem z tónového generátoru.

Kondenzátor C_9 musí mít dostatečně malou kapacitní reaktanci, (tzn. velkou kapacitu), aby jeho časová konstanta τ odpovídala meznímu kmitočtu 10 Hz (maximální útlum –3 dB). Totéž platí i o kondenzátorech C_1 , C_5 a C_7 . [$\tau_{10} = C_9 (R_{15} + R_{16}) \doteq (C_7 + C_8)R_{14} = (C_5 + C_4)R_{iT_3} = C_1R_{iT_1}$]. Nemůže být na škodu, použijí-li se na těch-

to místech kondenzátory s větší kapacitou, než je předepsáno. Pak je zaručeno, že na krajním kmitočtu tónového spektra (20 Hz) bude přenos nf signálu optimální.

Napětí tranzistorového předzesilovače by mělo být stabilizováno. U nás se však vhodná Zenerova dioda s tak nízkým Zenerovým napětím nevyrábí. Vhodný typ je např. ZF3,9 nebo Z3 (Intermetall – NSR). Avšak vzhledem k tomu, že odběr přístroje při měření je nepatrný – asi 2,7 mA – udrží se napětí baterie poměrně dlouho na stejné úrovni, což konečně můžeme před zahájením každého měření kontrolovat podle výchylky ručky měřidla. Teprve při poklesu napětí pod 3,9 V vyměníme baterii, abychom tak zabránili případným nepřesnostem při měření.

Hlavní zesilovač je též osazen křemíkovými tranzistory, které jsou sice poněkud dražší než germaniové, avšak mají lepší vlastnosti. Mezi ně patří např. zanedbatelný zbytkový proud řádu nA a tím i menší teplotní závislost a většinou větší zesilovací činitel. V našem případě použijeme KF507, popřípadě KF506. (Zvláště vhodné jsou BFY39II – SEL, Intermetall, popřípadě BC108b – Valvo, Siemens, ITT, Ditratherm, Philips atd. s vysokým mezním kmitočtem řádu stovek MHz a se zesilovacím činitelem $h_{21E} > 180$).

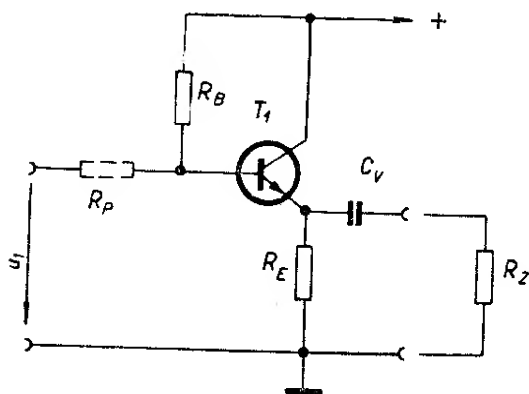
Zpětná vazba je 20 dB; napájení přístroje obstarává jedna plochá baterie ty-

pu B313. Do provozu se přístroj uvádí tlačítkovým spínačem S_1 .

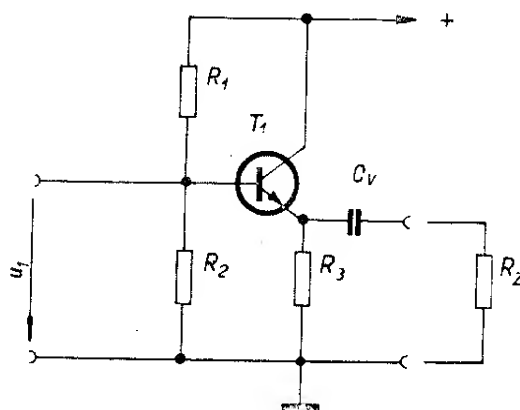
Kondenzátory C_3 a C_8 , které jsou připojeny k elektrolytickým (tj. C_3 k C_2 a C_8 k C_7) mají stejnou funkci jako C_4 , o němž jsme se již zmínili. Kondenzátory C_6 a C_{10} zamezují vzniku kladné zpětné vazby po zestárnutí baterie, kdy se nežádáně zvětší její vnitřní odpor. (Představují tedy z hlediska střídavého signálu dokonale uzavření obvodů).

Předzesilovač

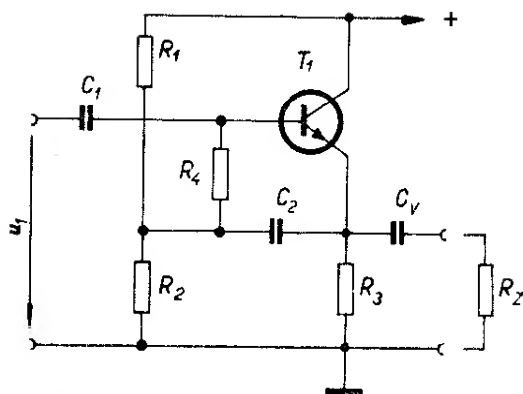
Vstupní odpor běžných tranzistorových zesilovačů a předzesilovačů je řádu jednotek až desítek k Ω . Požaduje-li se větší vstupní odpor, je nutno použít vstupní tranzistor v zapojení se společným kolektorem (obr. 28) s minimálním emitorovým odporem $R_E = 3$ k Ω . Další zvýšení umožní předřadný odpor v bázi R_P (značen čárkovaně – což má navíc výhodu kmitočtové nezávislosti). Bez tohoto odporu při použití moderních křemíkových tranzistorů s poměrně velkým zesilovacím činitelem (BC107 až BC109, $h_{21E} = 125$ až 900) lze dosáhnout v uvedeném zapojení vstupního odporu 10^4 až $10^5 \Omega$ (ten ovšem závisí též na velikosti emitorového odporu R_E). Pracovní bod tranzistoru v tomto případě je nastaven vhodnou velikostí odporu R_B . (Pro napětí baterie $U = 9$ V a kolektorový proud $I_C = 300 \mu A$ při



Obr. 28. Předzesilovač s velkým vstupním odporem – tzv. emitorový sledovač. (Čárkovaně vyznačeným předřadným odporem R_P lze ještě dále zvětšit vstupní odpor, ovšem za cenu zmenšení jmenovité citlivosti)



Obr. 29. Emitorový sledovač, jehož báze je napájena z děliče. Tento způsob zapojení je pro předzesilovače nevýhodný, neboť výsledný odpor paralelního spojení R_1 a R_2 nežádáně zatěžuje zdroj signálu



Obr. 30. Zapojení z obr. 29, doplněné o pouhé dvě součásti – odpor R_4 a kondenzátor C_2 – má v důsledku zpětné vazby vstupní odpor řádu $M\Omega$

$h_{21E} = 125$ až 700 pohybuje se hodnota R_B mezi $2 M\Omega$ až $18 M\Omega$!).

V praxi se ovšem napájí báze z důvodů lepší stabilizace z děliče (obr. 29). Při použití křemíkových tranzistorů s velkým zesilovacím činitelem ($h_{21E} = 125$ až 700) vycházejí velikosti odporů děliče sice značně větší, než na jaké jsme byli zvyklí u germaniových tranzistorů se zesilovacím činitelem max. 100, avšak pro vstup s velkou impedancí ještě nedostačující. (Např. u výše uvedených typů pro $I_C = 300 \mu A$ se pohybuje I_B mezi $0,4 \mu A$ až $3 \mu A$. A protože proud protékající děličem má být asi $10 \times$ větší, tj. $30 \mu A$, pak při napětí baterie $U = 9 V$ vychází $(R_1 + R_2) = 9 / 0,000 03 = 300 000 \Omega$).

Z těchto důvodů se dospělo k zapojení podle obr. 30, kde již není zdroj nf signálu zatížen paralelním spojením odporů R_1 a R_2 . Z hlediska střídavého signálu leží totiž odpory R_1 a R_2 paralelně k emitorovému odporu R_3 a odpor R_4 paralelně k drá-

ze emitor-báze. Účinkem zpětné vazby zavedené z emitoru do báze se příznivě zvětší vstupní impedance.

Avšak protože velikost zatěžovacího odporu R_Z ovlivňuje nežádанě velikost vstupní impedance, odebírá se výstupní signál z kolektoru (obr. 31), nebo se použije zdvojený sledovač se sériovým napájením báze (viz předzesilovač na obr. 26), popřípadě tzv. kaskádové zapojení (s vazbou z emitoru T_2 do kolektoru T_1 – viz předzesilovač na obr. 21).

V příkladu uvedeném na obr. 31 se dosahuje při použití křemíkového tranzistoru BC109 nebo BC131 (naše obdoba KC509) při napájecím napětí $12 V$ těchto vlastností:

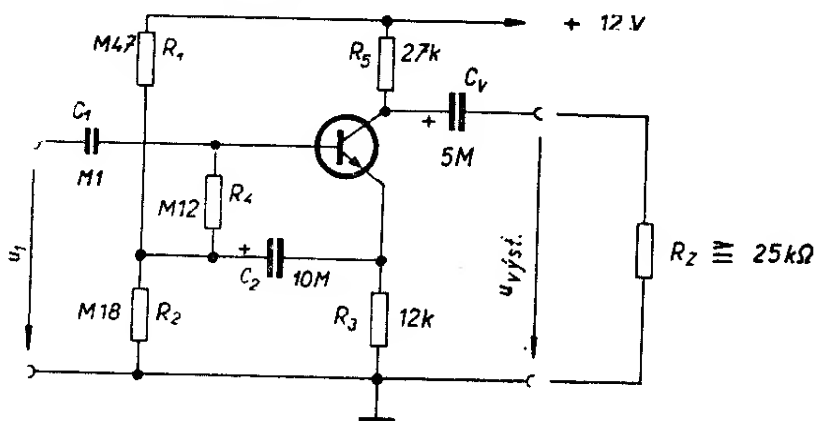
vstupní impedance R_i	$2 M\Omega$
jmenovité vstupní napětí $U_{i \max}$	$1 V$,
spodní mezní kmitočet f_d	$80 Hz$,
napěťové zesílení A_U	$0,97$,
výkonové zesílení A_P	$20 dB$,
odstup	$-80 dB$,
činitel nelineárního zkreslení k	$0,5 \%$.

Toto jsou ovšem střední hodnoty. Z tab. 2 je zřejmé, jaký vliv má velikost proudového zesilovacího činitele na některé parametry.

Tab. 2.

h_{21E}	170	260	500	900
f_d [Hz]	150	110	60	40
k [%]	0,9	0,6	0,5	0,35
R_i [$M\Omega$]	0,9	1,4	2,4	3,6

Obr. 31. Příklad zapojení jednostupňového předzesilovače (se sériovým napájením báze). Aby se odstranila závislost vstupní impedance na zatěžovacím odporu R_Z , odebírá se signál přes kondenzátor C_V z kolektoru



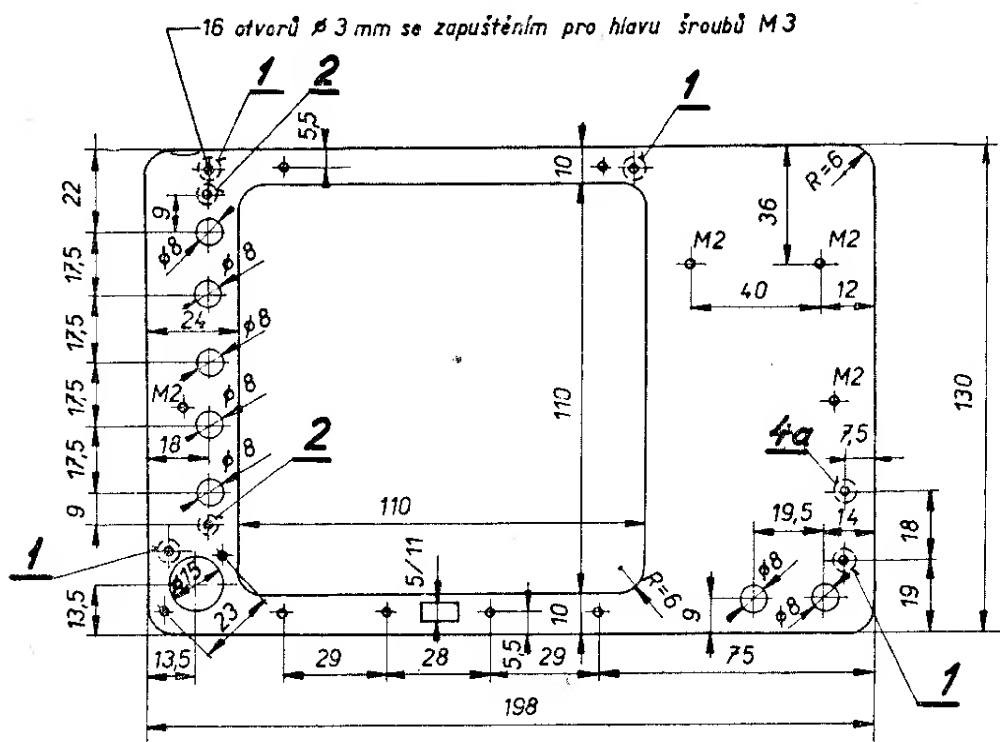
Konstrukce nf milivoltmetru

Základem mechanické konstrukce nf milivoltmetru je opět nosný čelní panel, na němž jsou umístěny a připevněny všechny součásti (obr. 32). Panel je z duralového plechu tloušťky 2 mm a má rozměry 130×198 mm. Ačkoli v tomto případě je použito stejně velké měřidlo jako u měřiče tranzistorů (DHR 8), liší se tento panel značně od obr. 10. To proto, že měřidlo je zapuštěno do panelu tak, že po zbroušení krytu je v jedné rovině s panelem. Toto uspořádání umožňuje překrytí celého panelu ozdobnou maskou z organického skla, které je zesponu natřeno krycí barvou s nezalakováním okénkem pro stupnici měřidla. Povrch přístroje je tedy úplně rovný a vystupují z něj jen tlačítka $Př_1$ až $Př_3$ a S_1 . Maska je opatřena rytými nápisy funkcí jednotlivých tlačítek, vstupních a výstupních svorek a označením přístroje. K nosnému panelu je připevněna pomocí dvou šroubů M2. (V Praze ryje nápisy do panelů družstvo „Znak“, Praha 1, V jámě 8).

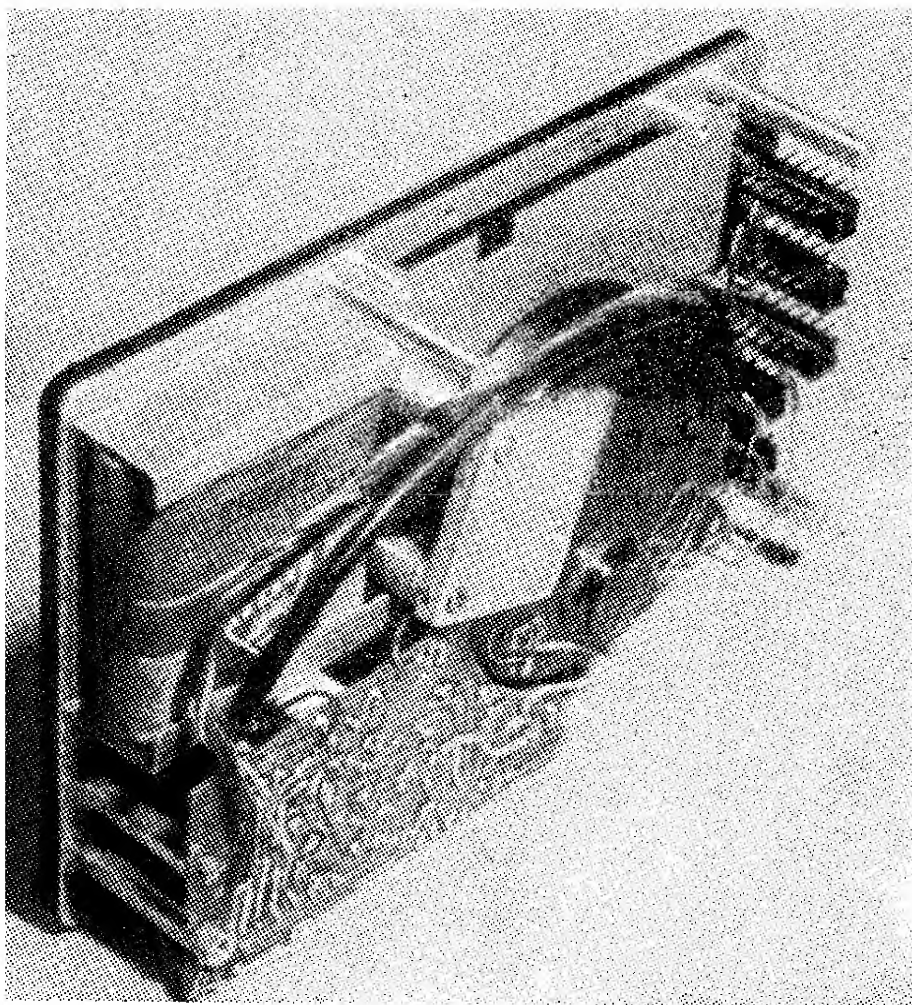
Při pohledu z boku na hotový měřicí přístroj (obr. 33) je patrna koncepce rozmístění hlavních částí tohoto měřicího přístroje.

Tak vlevo nahoře je připevněn jednoduchý držák pro jednu napájecí plochou baterii. Pod ním je na dvou distančních tyčkách připevněna cuprextitová destička s odpory, kondenzátory a tranzistory. Před destičkou v levém dolním rohu jsou k panelu připevněny výstupní svorky. V levé krajní části panelu je upevněn tlačítkový přepínač; pod ním dole je vstupní konektor. Mezi držákem baterie a tlačítkovým přepínačem leží pomocný mezipanel, k němuž je připevněno měřidlo nf milivoltmetru. Pod měřidlem (v jeho svislé ose) je připevněn dvěma šroubky M3 páčkový spínač S_1 .

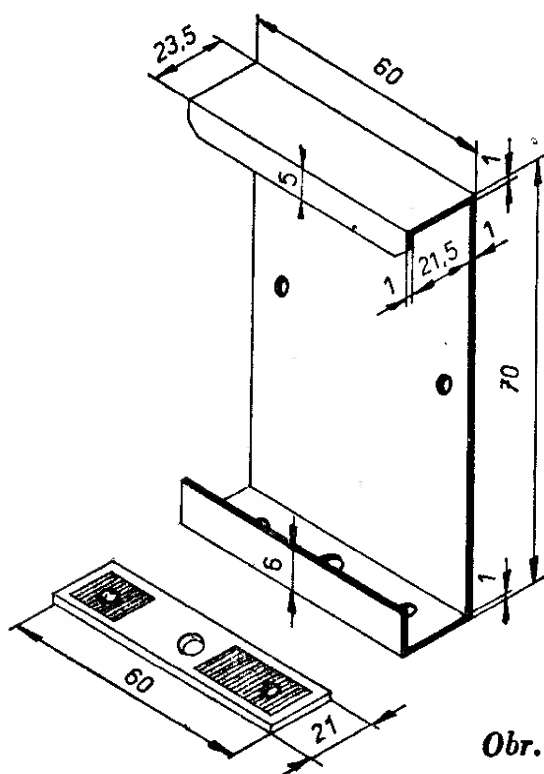
Držák baterie je z duralového plechu tloušťky 1 mm, jenž je ohnut do tvaru (plochého) písmena U (obr. 34). Plech po nahřátí ohýbáme ve svěráku, nejlépe přes železný hranol, čímž vytvoříme ohyby bez zaoblení. Toto zaoblení by totiž překáželo při nasouvání baterie. K jedné z úzkých bočnic je přinýtována kontaktní destička, k níž po zasunutí baterie přiléhají její napružené vývody. Destička je vyrobena z cuprextitu plátovaného mědí o rozměrech 21×60 mm. Naříznutím a odškrábáním přebytečné měděné fólie vytvoříme bez leptání sběrací kontakty



Obr. 32. Geometrický tvar nosného panelu s vyznačením hlavních rozměrů a otvorů



Obr. 33. Pohled na
nf milivoltmetr z bo-
ku, zachycující způ-
sob připevnění me-
zipanelu a měřidla
nf milivoltmetru



Při nýtování musíme mít na paměti, že destičku smíme přinýtovat k boční drážce pouze v jejím středu a v „záporném“ sběracím polepu. (Záporný pól je uzemněn na kostru). Do otvoru ve sběrnici pro kladný pól baterie je vložen dutý nýt, k němuž se připájí kablík od spínače S_1 (obr. 27). Aby tento nýt nezkratoval baterii na kostru držáku, musí mít za ním se nacházející otvor v bočnici průměr alespoň 8 mm. K nosnému panelu je připevněn držák dvěma šroubky M2 se zapuštěnou hlavou.

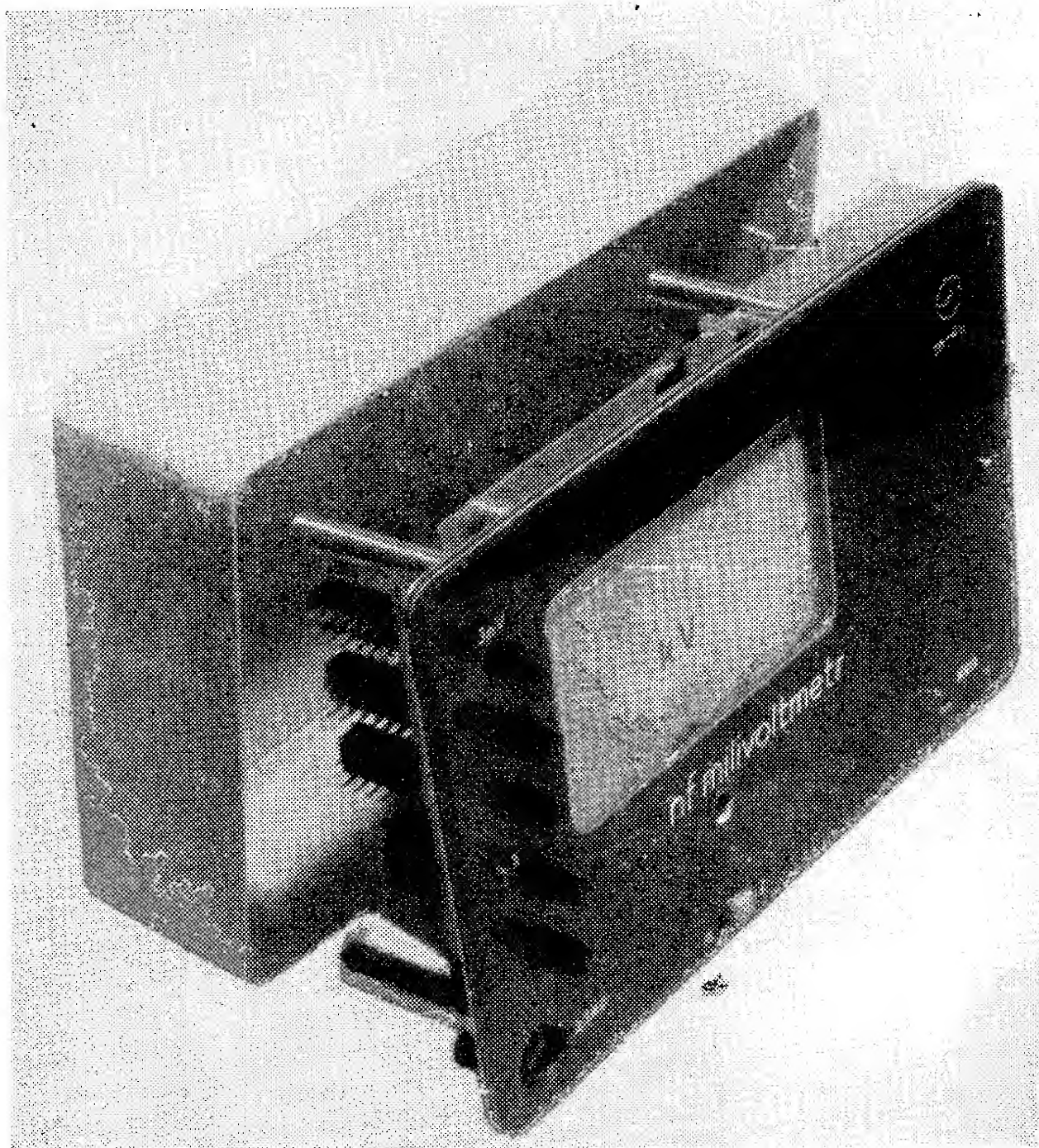
Přibližně v každém rohu nosného panelu jsou přišroubovány distanční tyčky. Jsou čtyři a zajišťují rovnoměrnou polohu přístroje v ochranné kovové skříni. Její popis neuvádím, neboť je totožná se skříní měřiče tranzistorů. Pouze rozměr „X“ (tj. hloubka skříně) se případně bude lišit od

Obr. 34. Rozměry jednoduchého držáku baterií

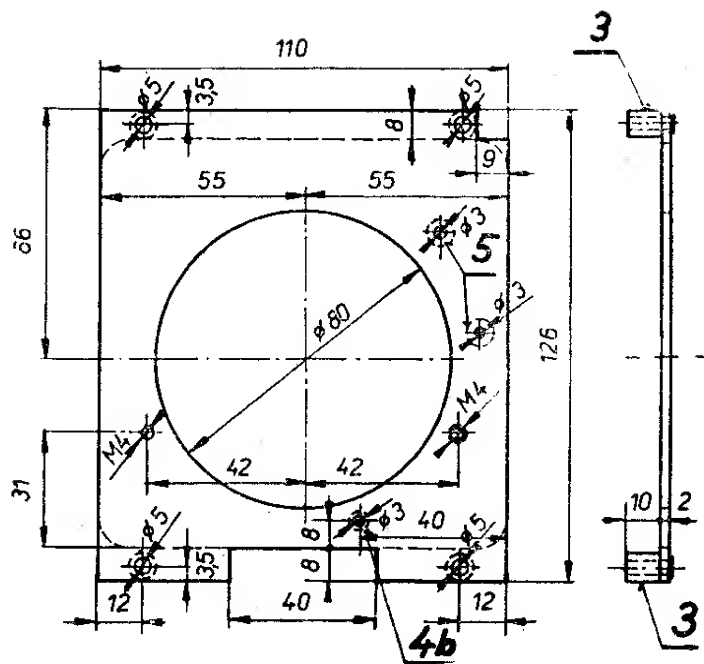
dříve popsané skříně. Na obr. 35 je hotová skříň zachycena v pozadí sestaveného nf milivoltmetru.

Vzhledem k tomu, že měřidlo přístroje je zapuštěno do panelu, musí se pro tento účel upravit. Úprava spočívá v rozebrání měřidla, tj. vyjmutí systému se stupnicí po odšroubování horního krytu se zaskleným okénkem, spodního víčka a základ-

ního krytu s krytem systému. Horní kryt je pro náš účel příliš vysoký a zaoblený. Proto jej opatrně zbrousíme na brusce tak, až povrch krytu jen nepatrně převyšuje sklo okénka (asi 0,4 mm). Před broušením ovšem vyjmeme šroubek nulové korekce ručky a ze spodu vylijeme kryt lepidlem Epoxy 1200; vyztužíme tak přední stěnu krytu proti deformacím, které by mohly



Obr. 35. Pohled na sestavený nf milivoltmetr vyjmutý ze skříně



Obr. 36. Geometrický tvar mezipanelu pro zapuštění a uchycení měřidla

nastat při broušení. Po zbroušení pocho-pitelně musíme obnovit vyvrtáním v zá-livce lůžko pro usazení šroubku korekce. Tloušťka ochranné a ztužující zálivky epoxidové pryskyřice smí však být tlustá jen 2 mm, jinak by totiž příliš snížené lůžko šroubku mechanické korekce kolido-valo s korekčním ústrojím měřidla. Po opětovném sesazení šroubek trochu vyčnívá nad zbroušeným povrchem kry-tu. To však nevadí, neboť jeho dřík se spolehlivě schová v ozdobné masce z orga-nického skla.

Další úprava spočívá v odříznutí pro-dloužené stěny krytu systému (tj. od-stranění prostoru pro předřadný odpor) a zbroušení hran řezu, včetně vyvrtání dvou otvorů s vyříznutými závity M3 a pájecími očky pro vývody měřidla. Po opětovném sestavení měřidla je hloubka měřidla značně menší; tím je též i určen rozměr „X“ skříně, který je v daném pří-padě 47 mm. (Pro zapuštění měřidla je nutná jen první úprava, tj. zbroušení hor-ního krytu měřidla. Spodní část není nut-no zkracovat; pak ovšem bude hloubka skříně „X“ 61 mm).

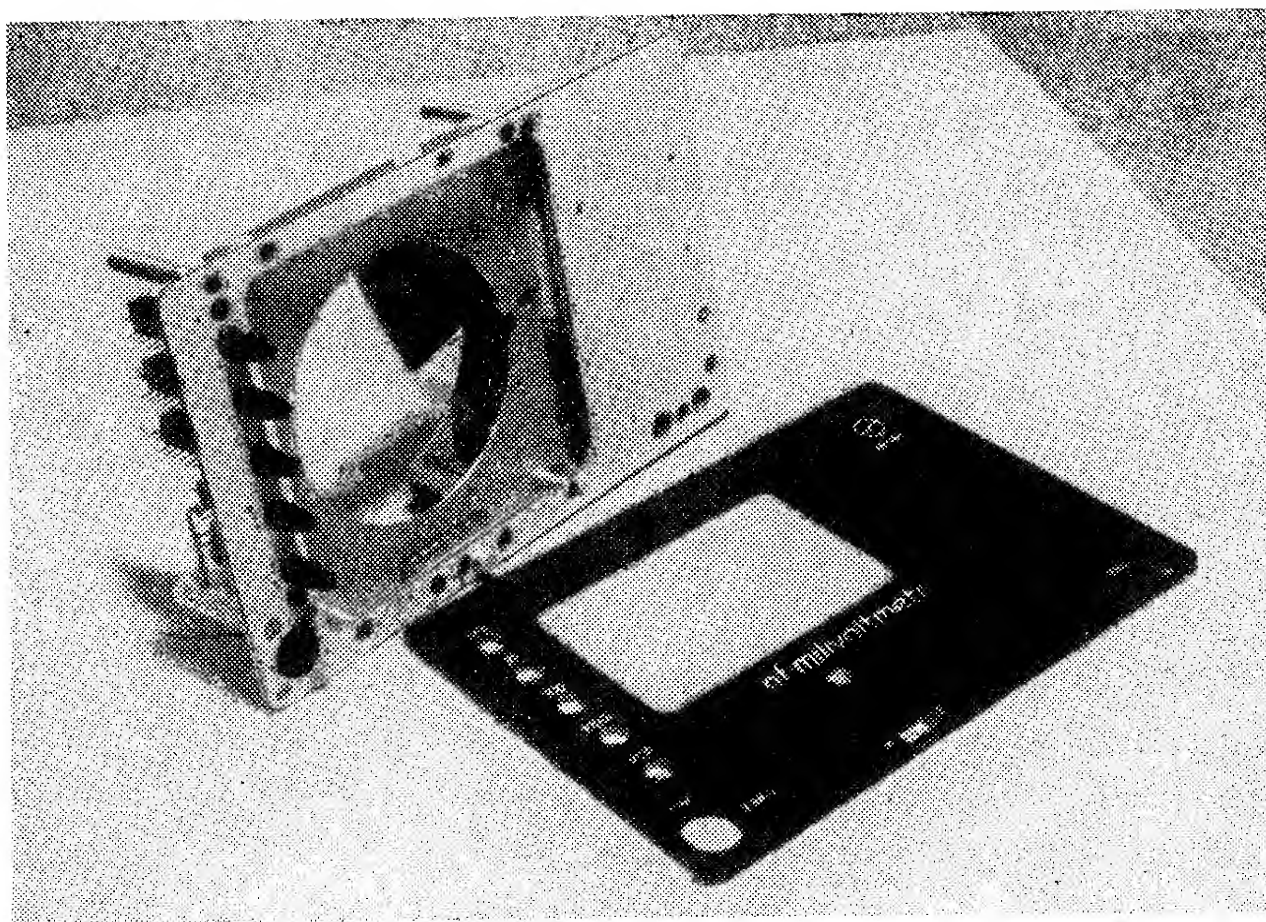
(Pozn.: Při broušení krytu měřidla je nutno vyjmutý systém uložit mimo dosah zvířeného prachu, který by mohl způso-bit znečištění ložisek. Po opětovném vlo-žení měřidla do upraveného krytu je nut-no vývody, které procházejí volně spodní

částí zakápnout acetonovým lepidlem (Kanagomem) v místech průchodů. Tím se dosáhne utěsnění proti nečistotám a prachu).

Sestavené měřidlo se zapuštěným kry-tem je připevněno k pomocnému mezi-panelu (obr. 36) dvěma šroubky M3 se zapuštěnými hlavami. Mezipanel je při-pojen k hlavnímu nosnému panelu čtyřmi distančními trubkami, opatřenými závity M3 pro upevňovací šroubky. Délka dis-tančních trubek je právě taková, aby povrch krytu měřidla přišroubovaného k mezipanelu ležel v jedné rovině s po-vrchem čelního panelu. Za těchto okol-ností přiléhá krycí maska z organického skla dokonale k měřidlu i k čelnímu pane-lu. Na obr. 37 je detailní záběr mezipa-nelu, připevněného k nosnému panelu.

Tlačítkový přepínač je připevněn k nos-nému panelu dvěma distančními trubka-mi se závitem M3. Také cuprextitová deska se součástkami je připevněna dis-tančními trubkami se závitem M3; obě trubky jsou však nestejně dlouhé. To proto, že jedna je připevněna k nosnému panelu, zatímco druhá pouze k mezipa-nelu. Na obr. 38 jsou údaje pro jejich zhotovení.

Hlavní rozměry a tvar spojové cuprex-titové destičky (B33) spolu s rozložením jednotlivých součástí je na obr. 39.



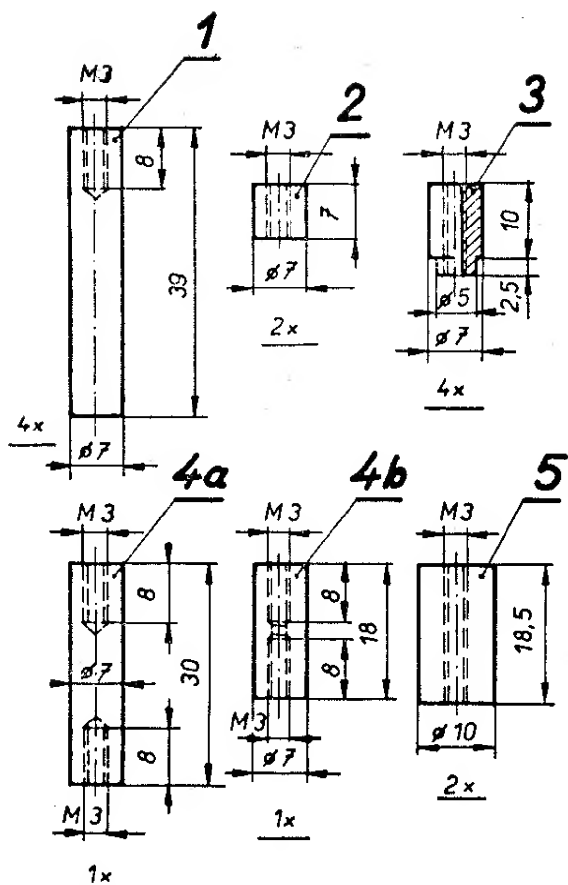
Obr. 37. Pohled na sestavený přístroj zepředu s vyjmutým měřidlem a odšroubovanou krycí maskou z organického skla

Uvedení do chodu, ověřování

Uvedení do chodu je velmi jednoduché. Při použití destičky s plošnými spoji a při správném osazení všemi součástkami (jejichž tolerance se neliší o více než o 10 % od předepsaných hodnot), pracuje přístroj spolehlivě při prvním zapnutí. Je pouze třeba nastavit odporový trimr R_{10} tak, aby při přivedení nf sinusového signálu s úrovní asi 3 mV docházelo při jeho zvýšení asi na dvojnásobek k oboustrannému souměrnému omezování špiček výstupního signálu. Pracovní bod trojice tranzistorů nastavujeme tedy běžcem trimru R_{10} , přičemž přivádíme na kondenzátor $C_4 + C_6$ sinusový signál z nf generátoru (proti zemi). Současně sledujeme tvar výstupního signálu za zesilovačem nf milivoltmetru, který odebíráme ze svorek „300 Ω “ a přivádíme na kontrolní osciloskop. K omezování dochází přibližně až

při stoprocentním zvětšení vstupního napětí, tzn. při úrovni vstupního signálu asi 6 mV.

Další úprava spočívá v nastavení citlivosti pro základní rozsah 3 mV, což závisí na velikosti odporu R_{12} . Jak již bylo uvedeno, vyhověl v našem případě odpor 39 Ω . V praxi postupujeme tak, že místo odporu R_{12} , 39 Ω , použijeme drátový potenciometr 50 Ω , jehož běžec nastavíme do takové polohy, aby se ručka měřidla vychýlila na konec stupnice při vstupním signálu 3 mV o kmitočtu 1 kHz z nf generátoru. Pak potenciometr odpájíme a změříme ohmmetrem (např. Icometem Tesla) jeho hodnotu. Může být např. 30 Ω . V tom případě na místě R_{12} použijeme předepsaný odpor 39 Ω , k němuž paralelně připojíme odpor $R_{13} = 120 \Omega$ (je pro něj na destičce vynecháno místo). Jejich výsledný odpor se pak rovná požadovaným 30 Ω . (Vzhledem k tolerancím odporů



Obr. 38. Distanční tyčky: 1 – distanční tyčka nosného panelu, 2 – distanční tyčka pro připevnění tlačítkového přepínače, 3 – distanční tyčka pro přichycení mezipanelu, 4 – distanční tyčka pro přichycení cuprexitové destičky se součástkami (4a a 4b), 5 – distanční tyčka pro šroub připevňující pouzdro přístroje.

z výroby nenalezneme vyhovující velikost napoprvé. Proto doplňující odpor R_{13} vyhledáme též pomocí můstku, popřípadě zkusmo z více odporů stejného označení. Podobně postupujeme i pro jinou zjištěnou velikost).

Poslední úprava spočívá ve volbě kompenzačních kondenzátorů vstupního děliče, tedy C_{z1} a C_{z2} . Vycházíme z toho, že součin $R_{d1}C_{z1} = R_{d2}C_{z2}$. Pro vyrovnání vlivu parazitních kapacit to znamená, že při kondenzátoru $C_{z2} = 10\,000$ pF bude kapacita C_{z1} kolem 10 pF. Vzhledem ke kapacitě přepínacích kontaktů použijeme trimr s proměnnou kapacitou v rozmezí 2 až 13 pF. Správné velikosti těchto kondenzátorů kontrolujeme na kmitočtu 20 kHz (samozřejmě při zapojeném vstupním děliči, při přepínači $Př_1$ v dolní polo-

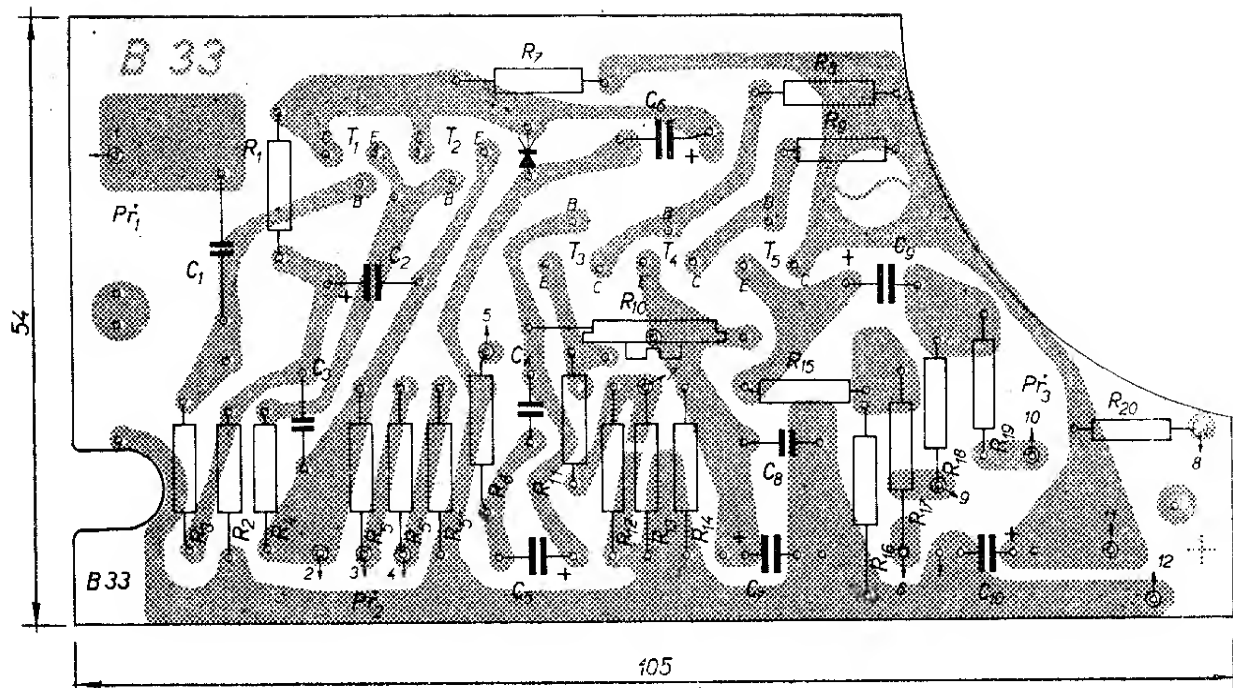
ze), kdy budíme nf milivoltmetr signálem o úrovni 3 V (přepínač $Př_2$ je v poloze „3 mV“). Budou-li kapacity správně voleny a nastaveny, pak změna kmitočtu z referenčního 1 kHz na 20 kHz (při stálém výstupním napětí a nf generátoru) musí vyvolat stejnou výchylku ručky měřidla nf milivoltmetru. Zaznamenáme-li ovšem na kmitočtu 20 kHz pokles výchylky, pak je kapacita kondenzátoru C_{z2} příliš velká (přičítá se k ní i vstupní kapacita předzesilovače), popřípadě kapacita C_{z1} příliš malá. Zvětší-li se však na kmitočtu 20 kHz výchylka (proti výchylce při 1 kHz), pak je kapacita C_{z2} příliš malá, nebo kapacita C_{z1} příliš velká.

A nyní, jsou-li předchozí úpravy skončeny, přistoupíme k ověřování průběhu stupnice, čili k tzv. cejchování.

Nf milivoltmetr cejchujeme tak, že k našemu nf milivoltmetru připojíme paralelně komerční, již ocejchovaný milivoltmetr, který přepneme na stejný rozsah, tj. na 3 mV. Pak budíme oba milivoltmetry signálem 3 mV o kmitočtu 1 kHz z tónového generátoru.

Úroveň signálu postupně snižujeme, přičemž si zaznamenáváme výchylky (v počtu dílků) na stupnicích obou milivoltmetrů. Z průběhu zjistíme, že dělení stupnice se v levé polovině stupnice liší od původního lineárního dělení stupnice použitého měřidla. Podle bodů, které jsme získali srovnávací metodou, můžeme nakreslit novou stupnici. Nakreslit ji můžeme přímo přes nastříknutou původní stupnici (acetonovým rychleschnoucím lakem), popřípadě na pausovací papír v desateronásobném zvětšení, kterou ofotografujeme a ve zvětšovací přístroji překopírujeme na požadovaný rozměr. (Fotografujeme na film o citlivosti 17/10° DIN s expozicí asi 1/10 až 1/25 vteřiny. Na kopie používáme kontaktní nebo nejtvrdší papír. Kopie je třeba velmi dobře ustálit a vyprat, aby po čase nesežloutly).

V praxi bylo autorem zjištěno, že většina továrních milivoltmetrů není přesně ocejchována, zvláště v přechodech z trojkové na desítkovou stupnici a opačně, dále pak i v samotném průběhu (např. polovina měřícího rozsahu neodpovídá výchylce měřidla apod.). Z toho důvodu byla



Obr. 39. Cuprexitová destička s plošnými spoji B 33 a rozložení součástek; zdvojené kroužky určují místa osazení dutých nýtků pro připojení kablíků

vzata jako ověřovací normál pouze konečná výchylka pro údaj 3 mV. Průběh pak byl zjištěn pomocí měřicího transformátoru (obr. 40). Tento transformátor má pouze jedno vinutí s několika odbočkami, které odpovídají hlavním bodům budoucí stupnice [1:1, 1:2, 1:3 (2:3), 1:6 (5:6), 1:10, 1:100, 1:1 000]. Je navinut na cívce inkurantního permalloyového jádra, popřípadě na obdobném jádře z jakostních křemíkových plechů M42, popř. z VT 38 apod. Transformátor upevníme na malou duralovou desku, na níž jsou přišroubovány vstupní a výstupní svorky a nezbytný vícepolohový přepínač (obr. 41).

Pomocí tohoto transformátoru můžeme získat nejen správný průběh stupnice, ale též zkontrolovat nastavení jednotlivých rozsahů, tzn. velikost odporů R_5 , R_5' a R_5'' vnitřního děliče a R_{d1} a R_{d2} vnějšího – vstupního – děliče.

Seznam součástí

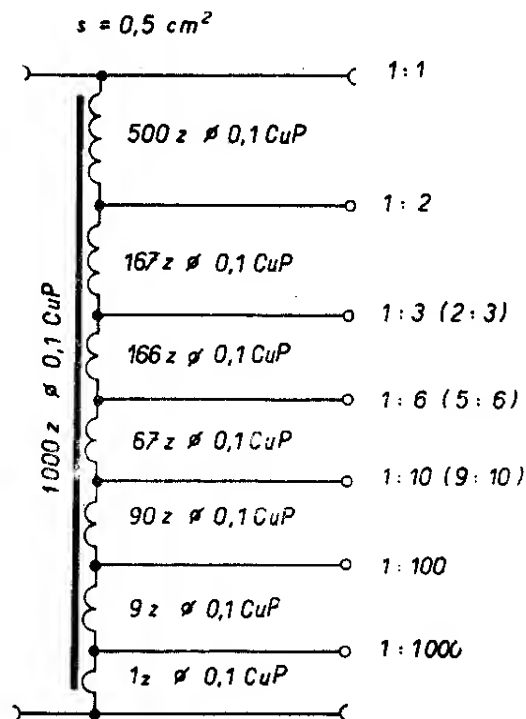
Odpory:

R_{d1} – 3,3 M Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý

R_{d2} – 3,3 k Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý

R_{d2}' – 0,1 M Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý

R_1 – 47 k Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý



Obr. 40. Vinutí měřicího transformátoru

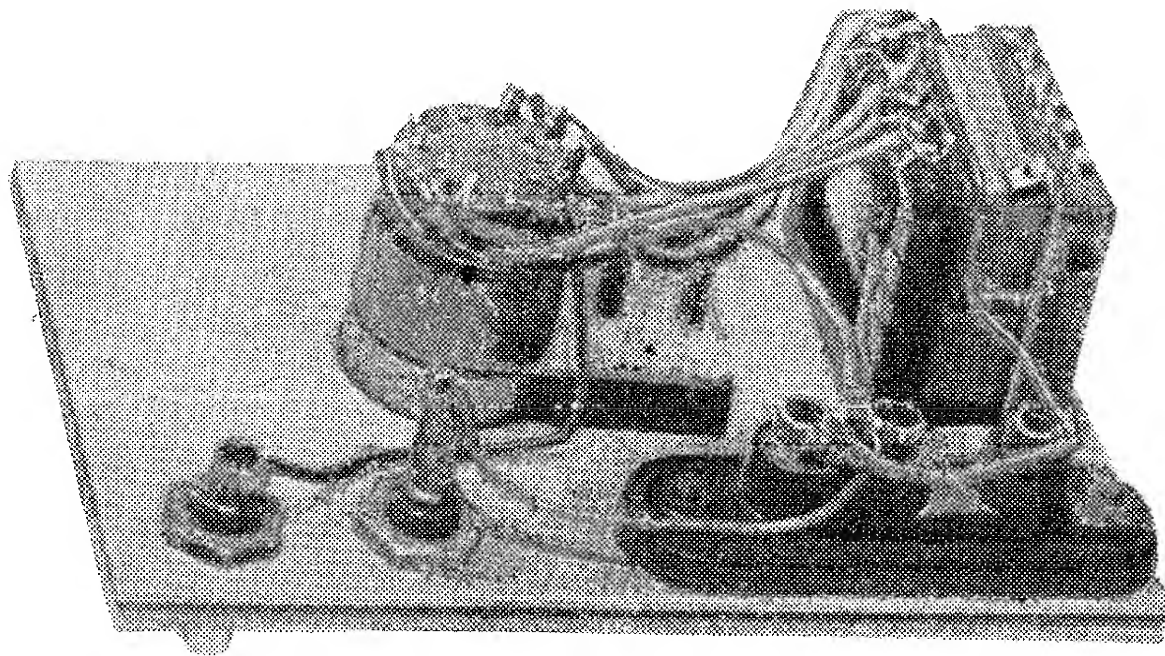
$$40 \cdot \frac{5}{69} R_K$$

- R_2 – 47 k Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_3 – 0,1 M Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_4 – 22 k Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_5 – 2,2 k Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_5' – 220 Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_5'' – 24,2 Ω , navinutý z odporového drátu na tělisku odporu TR 113. Vinutí bifilární
 R_6 – 2,2 k Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_7 – 680 Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_8 – 33 k Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_9 – 10 k Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_{10} – 0,39 M Ω , odporový trimr WN 790 30
 R_{11} – 12 Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_{12} – 39 Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_{13} – 82 až 500 Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý (individuálně vy-

- braný, v případě nutnosti paralelně k R_{12})
 R_{14} – 5,6 k Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_{15} – 330 Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_{16} – 3,3 k Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_{17} – 270 Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_{18} – 680 Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_{19} – 5,6 k Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý
 R_{20} – 47 k Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý

Kondenzátory:

- C_{z1} – 2 až 13 pF, stéblový trimr
 C_{z2} – 10 nF/100 V, TC 281, styroflex
 C_1 – 1 μ F/160 V, TC 171, MP, svitkový
 C_2 – 100 μ F/6 V, TC 941, elektrolytický, pro plošné spoje
 C_3 – 47 nF/40 V, polštářkový, zalisovaný
 C_4 – 47 nF/40 V, polštářkový, zalisovaný
 C_5 – 50 μ F/6 V, TC 941, elektrolytický, pro plošné spoje



Obr. 41. Měřicí transformátor na nosné duralové desce spolu se vstupními a výstupními svorkami a s přepínačem (zapojujícím výstupní svorku na zvolenou odbočku, čímž se dosahuje požadovaného sestupného převodu pro cejchování přístroje)

- C_6 – 100 $\mu\text{F}/6\text{ V}$, TC 941, elektrolytický, pro plošné spoje
- C_7 – 100 $\mu\text{F}/6\text{ V}$, TC 941, elektrolytický, pro plošné spoje
- C_8 – 47 nF/40 V, polštářkový, zalisovaný
- C_9 – 200 $\mu\text{F}/6\text{ V}$, TC 941, elektrolytický, pro plošné spoje
- C_{10} – 200 $\mu\text{F}/6\text{ V}$, TC 941, elektrolytický, pro plošné spoje

Tranzistory a diody:

- T_1, T_2 – KF503 (BFY39 II)
- T_3 – KF507 (BFY39 II)
- T_4 – KF507 (BC107B)
- T_5 – KF506 (BFY39 II)
- D_1 až D_4 – 1N41 (GA203)

Pozn.: Odpor R'_{d2} se připojuje paralelně k R_{d2} , je-li R_{d2} značně větší, než jak je předepsáno.

Ostatní součásti:

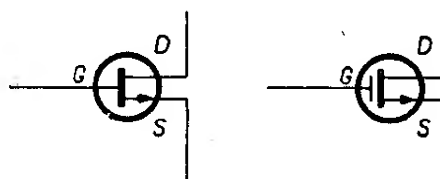
Měřidlo M_1 – 100 μA , DHR8 (Metra-Blansko), tlačítkové přepínače, deska s plošnými spoji, duralový panel a mezipanel, maska z organického skla, distanční trubky, páčkový přepínač, konektor, stíněný kablík, zdířky, duté nýtky o \varnothing 2 mm, spojovací izolovaný kablík a drát, šroubky M3 s válcovou a zapuštěnou hlavou apod.

Alternativní řešení s tranzistorem FET a třemi dalšími tranzistory

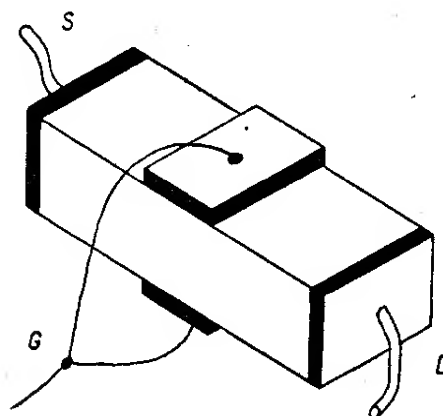
Nejprve si musíme říci několik slov o novém typu tranzistoru, zvaném FET. Tranzistor FET (Field-Effect Transistor) – v podstatě říditelný polovodičový odpor – je tranzistor řízený polem. Jeho hlavní výhodou je, že má velký vstupní odpor pro stejnosměrný proud a nf signály řádu 10^8 až $10^{15}\ \Omega$. Pro tuto vlastnost je přímo předurčen pro použití ve stejnosměrných voltmetrech, nf předzesilovačích a zesilovačích, speciálních měřicích přístrojích (jako je generátor RC, nf milivoltmetr, univerzální voltmetr apod.), ale též v televizních tunelech atd. a všude tam, kde se požaduje velký vstupní odpor. Svými

vlastnostmi se blíží elektronce, proti níž má některé výhody. (K nim patří např. malé rozměry, žádné žhavení, vysoký mezní kmitočet zasahující až do oblasti stovek MHz (BF244, BF245 – $f_T = 800\text{ MHz}$, BF256 – $f_T = 1\,000\text{ MHz}$), malý činitel křížové modulace apod.).

Z hlediska technologie výroby se ujal dvě varianty tranzistorů řízených polem. Starší druh má jen „mezni“ přechodovou vrstvu pod elektrodou G, zatímco novější MOSFET je opatřen izolační vrstvou kyslíčnicku křemičitého či jiného kyslíčnicku základního materiálu. (Kromě křemíku jako základního polovodiče lze totiž použít germanium, galium-arzenid, kadmium-selenid apod.). Zkratka MOSFET vznikla z názvu Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor. V literatuře se setkáme též s názvy JUGFET – což je tranzistor patřící do první skupiny a IGFET, což je tranzistor s izolovanou elektrodou G, patřící do skupiny druhé. Ve schématech rozlišujeme oba tyto typy smluvenou značkou (obr. 42). Z hle-



Obr. 42. Schématická značka pro polem řízený tranzistor FET (vlevo) a MOSFET (vpravo)



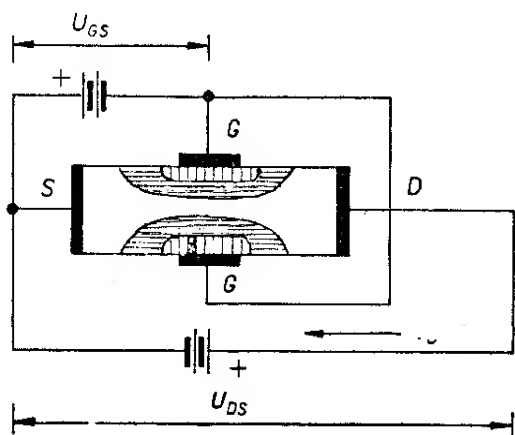
Obr. 43. Základní uspořádání tranzistoru řízeného polem. G – řídicí elektroda (gate = hradlo), S – elektroda S (source = zdroj), D – elektroda D (drain = odtok)

diska některých použití však vykazují oba typy tranzistorů podobné vlastnosti, takže je v dalším výkladu nebudeme rozlišovat.

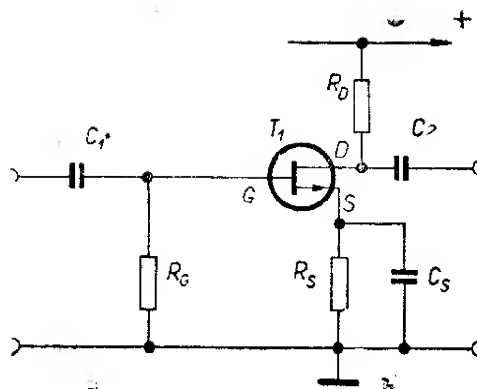
Základní uspořádání polem řízeného tranzistoru je na obr. 43. Na kratších stranách polovodičového hranolku jsou připojeny dvě elektrody. Jedna z nich se označuje symbolem S (source – zdroj), druhá, protilehlá elektroda je označena symbolem D (drain = odtok). Pro třetí elektrodu G (gate = vrata, brána, hradlo), která se nachází na jedné delší straně (nebo obou dvou protilehlých stranách) hranolku, se používá názvu řídicí elektroda nebo elektroda G. Názvy elektrod doposud nejsou u nás znormalizovány; proto zatím používáme uvedená jednoduchá označení (elektroda D, G, S).

Činnost tranzistoru řízeného polem je možno vysvětlit tak, že proud nositelů náboje, jimiž mohou být elektrony nebo tzv. „díry“, postupuje od elektrody S k elektrodě D a vytváří tak v prostoru hranolku vodivý kanál. Do kanálu však zasahuje elektrické pole elektrody G. Toto pole má vliv na proud protékající vodivým kanálem, tj. na proud tekoucí mezi elektrodami S a D. Proud je tedy úměrný velikosti pole elektrody G. Jinými slovy řečeno, velikostí pole elektrody G lze ovládat proud protékající kanálem; velikost pole pak je dána předpětím elektrody G.

Připojíme-li na řídicí elektrodu G napětí polarity podle obr. 44, přičemž elektro-



Obr. 44. Schéma polarizování elektrod a vznik prostorového náboje u elektrody G (vlivem přiloženého napětí U_{GS}) tranzistoru FET



Obr. 45. Nejběžněji používané zapojení tranzistoru FET jako nf předzesilovač s velkým vstupním odporem

dy D a S jsou napájeny z jiného zdroje, vytvoří se uvnitř kanálu za elektrodami D a S prostorový náboj, vázající část volných nosičů. Tím se zmenší vodivost základního materiálu hranolku. Úměrně k velikosti napětí na elektrodě G se mění i velikost prostorového náboje (pole) a tudíž i vodivost kanálu, k čemuž ovšem přispívají i účinky napětí U_{DS} . Při určité velikosti napětí U_{GS} (tj. předpětí elektrody G) zaniká dokonce proud I_D protékající kanálem z elektrody D na elektrodu S.

Vzhledem k tomu, že přechod pod elektrodou G lze v určitém zjednodušení považovat (u tranzistoru FET) za křemíkovou diodu pólovanou v závěrném směru s nepatrným zbytkovým proudem ($I_G \approx 0$), popřípadě (u tranzistoru MOSFET) obdobu kondenzátoru, řídíme výstupní proud I_D pouze napětím na elektrodě G (jako u elektronky). A v tom též spočívá vysvětlení značného vstupního odporu tranzistorů řízených polem.

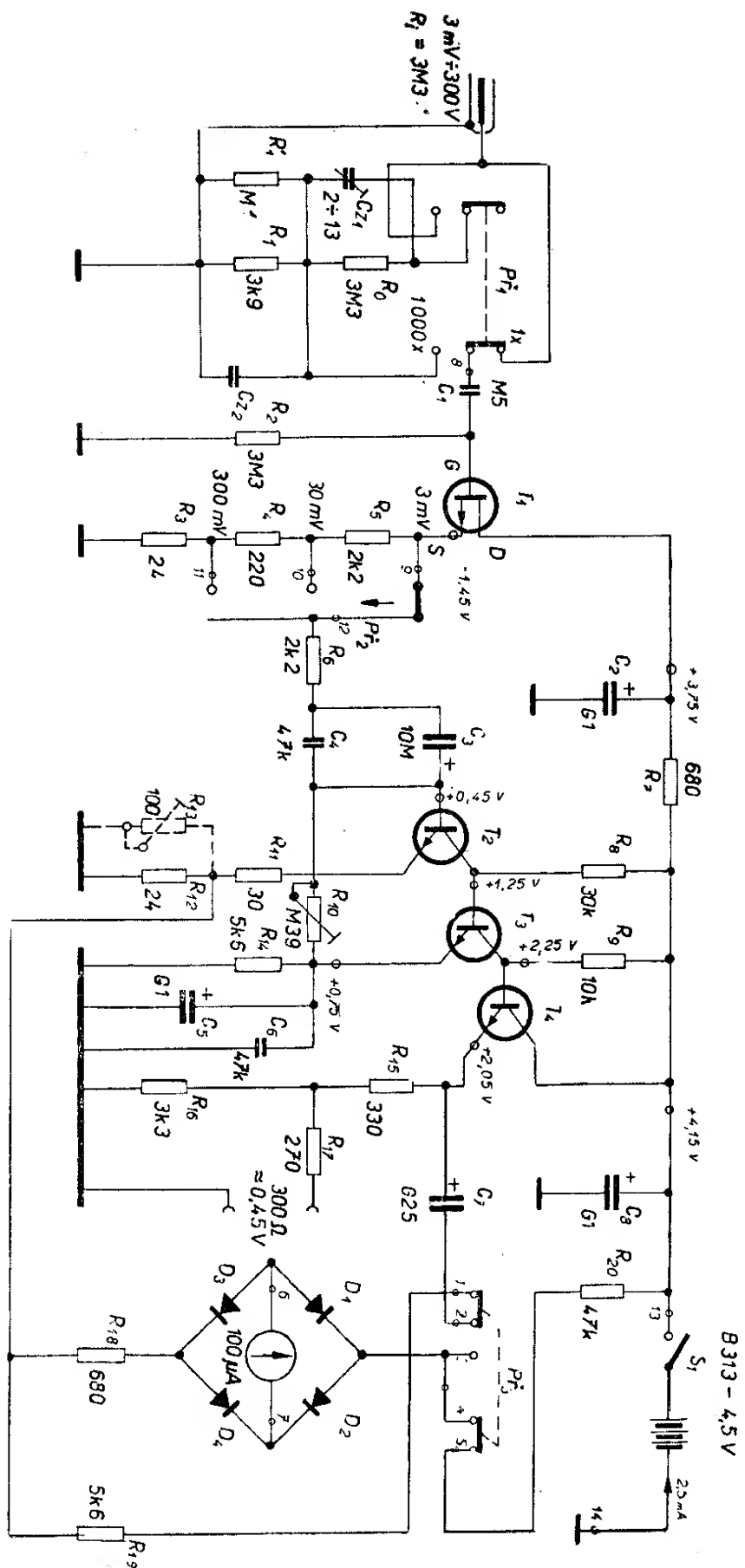
Protože zesilovací činnost tranzistorů FET je zprostředkována pouze nositeli náboje jednoho druhu, tj. elektrony nebo „dírami“, označují se tyto tranzistory v technické literatuře jako unipolární na rozdíl od klasických tranzistorů bipolárních, u nichž působí současně vždy elektrony i „díry“.

Na obr. 45 je zapojení tranzistoru FET jako předzesilovač s velkým vstupním odporem. Záporné předpětí elektrody G vzniká na odporu R_S průtokem proudu I_D , takže vystačíme s jedním zdrojem na-

KF520
(2N3819)

KF507 KF507 KF506
(BFY3911) (BC107B) (BFY3911)

4 x GA203
(4 x AA214B)



Obr. 46. Celkové zapojení mf milivoltmetru s jedním tranzistorem FET a třemi klasickými tranzistory
($C_{z8} = 3,3 \text{ nF}$)

pětí. Odpor R_D je pracovním odporem tranzistoru a snímáme z něj zesílený nf signál, který byl přiveden vazebním kondenzátorem C_1 na elektrodu G. Odpor R_S přispívá rovněž k teplotní stabilizaci předzesilovače. Proti záporné zpětné vazbě, zmenšující zesílení, je blokován kondenzátorem C_S . Odpor R_C přivádějící záporné předpětí na elektrodu G (tzn. záporné vůči elektrodě S) je řádu M Ω ; pracovní odpor R_D řádu desítek až stovek k Ω .

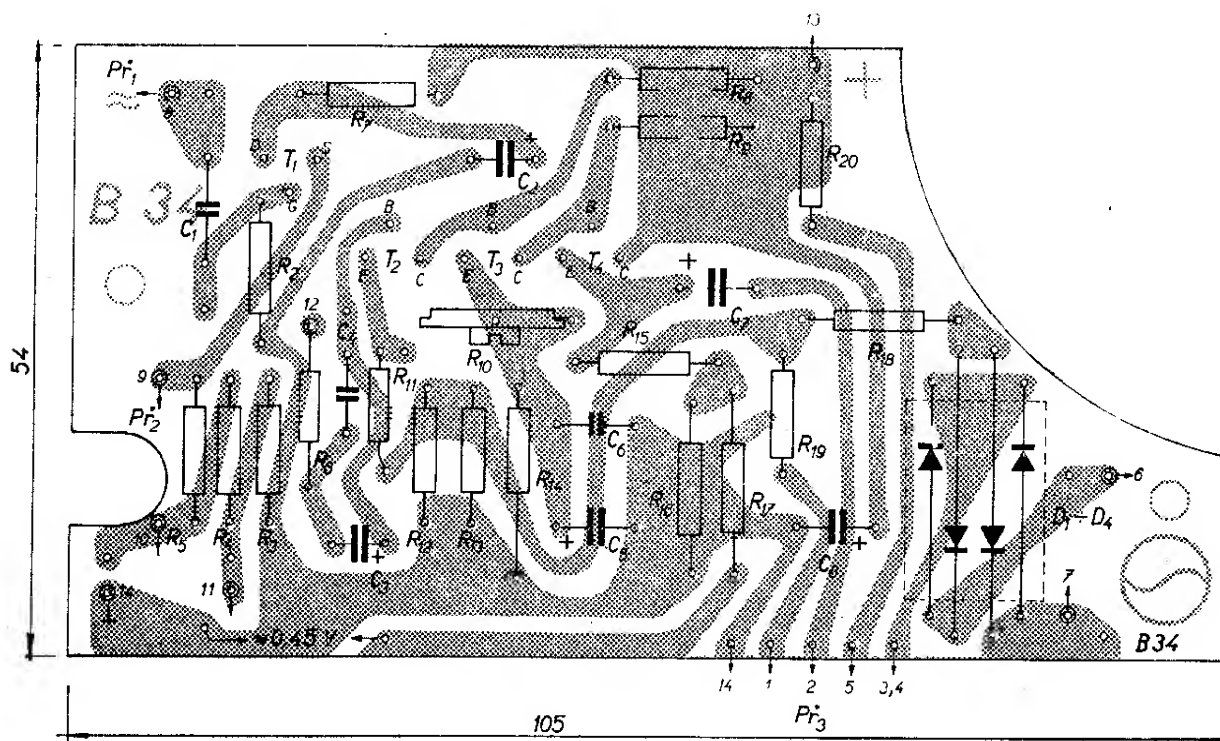
A nyní opět ke konstrukci nf milivoltmetru. Jak je zřejmé, můžeme ze zapojení na obr. 27 vypustit dvojici tranzistorů T_1 a T_2 (předzesilovač s velkým vstupním odporem) a nahradit ji jedním polem řízeným tranzistorem. A protože u nás jsou již tyto tranzistory v prodeji – a sice typ KF520 (Tesla) za 51,50 Kčs, bude řešení s tranzistorem FET levnější proti původnímu.

Zapojení této alternativy je na obr. 46. Jak je ze schématu patrné, je předzesilovač s tranzistorem FET (který je zde zapojen jako „emitorový“ sledovač) velmi jednoduchý. Měřený signál jde na řídicí elektrodu G z přepínače $Př_1$ a vazebního kondenzátoru C_1 . Signál se odebírá z elektrody S tranzistoru T_1 , v jejímž přívodu se

nachází trojice známých odporů „vnitřního“ děliče R_5 , R_4 a R_3 . Na dělič navazuje přepínač $Př_2$; další průběh cesty měřeného signálu je nám již znám z předchozího popisu.

Bedlivějším srovnáním obou schémat zjistíme, že velikost odporů R_{12} a R_{13} se v obou zapojeních liší. To je způsobeno tím, že v druhém případě bylo použito jednak jiných tranzistorů hlavního zesilovače, jednak napěťový přenos tranzistoru FET (v zapojení jako sledovač) je nižší oproti přenosu bipolárních (klasických) tranzistorů. (Napěťové zesílení sledovače s bipolárním tranzistorem je 0,9 až 0,97, zatímco s tranzistorem FET 0,5 až 0,95). Druhý důvod je důležitější, proto bylo nutno zeslabit stupeň zpětné vazby hlavního zesilovače a tím zvětšit jeho zisk k pokrytí ztrát v přenosu T_1 při zachování stejného základního napěťového rozsahu 3 mV. Proto je výsledný odpor dvojice R_{12} , R_{13} menší.

Přesto, že byl zmenšen stupeň záporné zpětné vazby, kmitočtový průběh nf milivoltmetru v tónovém spektru nedoznal odchylky. V pásmu 10 Hz až 20 kHz je rovný v mezích 0 až $\pm 0,3$ dB (měřeno na základním rozsahu 3 mV), v pásmu 10 Hz



Obr. 47. Rozložení součástí na cuprexitové destičce s plošnými spoji B34

až 70 kHz v mezích 0 až +0,4 dB a v pásmu 10 Hz až 300 kHz v mezích +0,5 dB až -3 dB. Při měření se sepnutým přepínačem $Př_1$ záleží pochopitelně na kompenzaci kondenzátory C_{z1} a C_{z2} , jejichž vliv na výslednou kmitočtovou charakteristiku je značný. (Při kompenzaci nesmíme zapomenout na vlastní kapacitu přírodního kabelu a vstupního konektoru, která nemá dohromady přestoupit 60 pF - má-li být nf milivoltmetr širokopásmový).

Protože se použitím tranzistoru FET zapojení dosti zjednodušilo, použil jsem též jinou spojovou destičku. Její tvar spolu s rozložením jednotlivých součástí je na obr. 47. (Destička má označení B 34 a je ji možno objednat na dobírku u radioklubu „Smaragd“ v Praze 10, pošt. schránka 116, Praha 10.).

Na obr. 48 je pohled na hotovou a osazenou destičku B 34 nf milivoltmetru. Z vyobrazení je patrné, že ve vzorku je použit jako T_1 jiný typ místo KF520. Tranzistor KF520, který jsem měl k dispozici, poněkud šuměl, což se projevovalo na základním rozsahu 3 mV nežádanou výchylkou ručky (tzn. že šum T_1 byl indikován měřidlem jako nf signál). Z toho důvodu jsem použil zahraniční 2N3819 (Texas Instruments), jehož data jsem zveřejnil v AR 4/68 na str. 127. Ovšem daleko výhodnější by byl typ TIS58 (téhož výrobce), popřípadě BFW10 (Philips) apod. Při použití KF520 (Tesla) je nutno vybrat takový, který má nejmenší šum.

(Poznámka. Na tomto místě je nutno poznamenat, že ani výrobky zahraničních výrobců polovodičů nevykazují přesně definované vlastnosti v úzkém předem stanoveném tolerančním pásmu. To se zvláště projevuje u tranzistorů FET - patrně z technologických důvodů. Např. americký tranzistor FET typu BF245 s mezním kmitočtem 800 MHz vykazoval při proměrování značný rozptyl parametrů. Obdobně tomu bylo i u MPF105 (Intermetall), což je též vhodný tranzistor FET pro uvedený účel).

Na obr. 49 je pohled na nf milivoltmetr s vestavěnou destičkou součástek; obr. 50 pak zachycuje sestavený a dohotovený měřicí přístroj v ochranné kovové skříni.

Poznámky k součástkám, ke konstrukci a k obsluze

Pro alternativní řešení budeme potřebovat níže uvedené součástky.

Odporů:

- R_0 - 3,3 M Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý (změna označení)
- R_1 - 3,9 k Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý (změna označení)
- R_1' - 0,1 M Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý (změna označení)
- R_2 - 3,3 M Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý (nový)
- R_3 - 24 Ω , 0,1 W, vinutý bifilárně z odporového drátu na tělisku odporu 0,1 M Ω - TR 113 (změna označení)
- R_4 - 220 Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý (změna označení)
- R_{12} - 24 Ω , 0,1 W, TR 113, miniaturní vrstvý (nový)
- R_{13} - 100 Ω , odporový trimr WN 790 30 (nový)

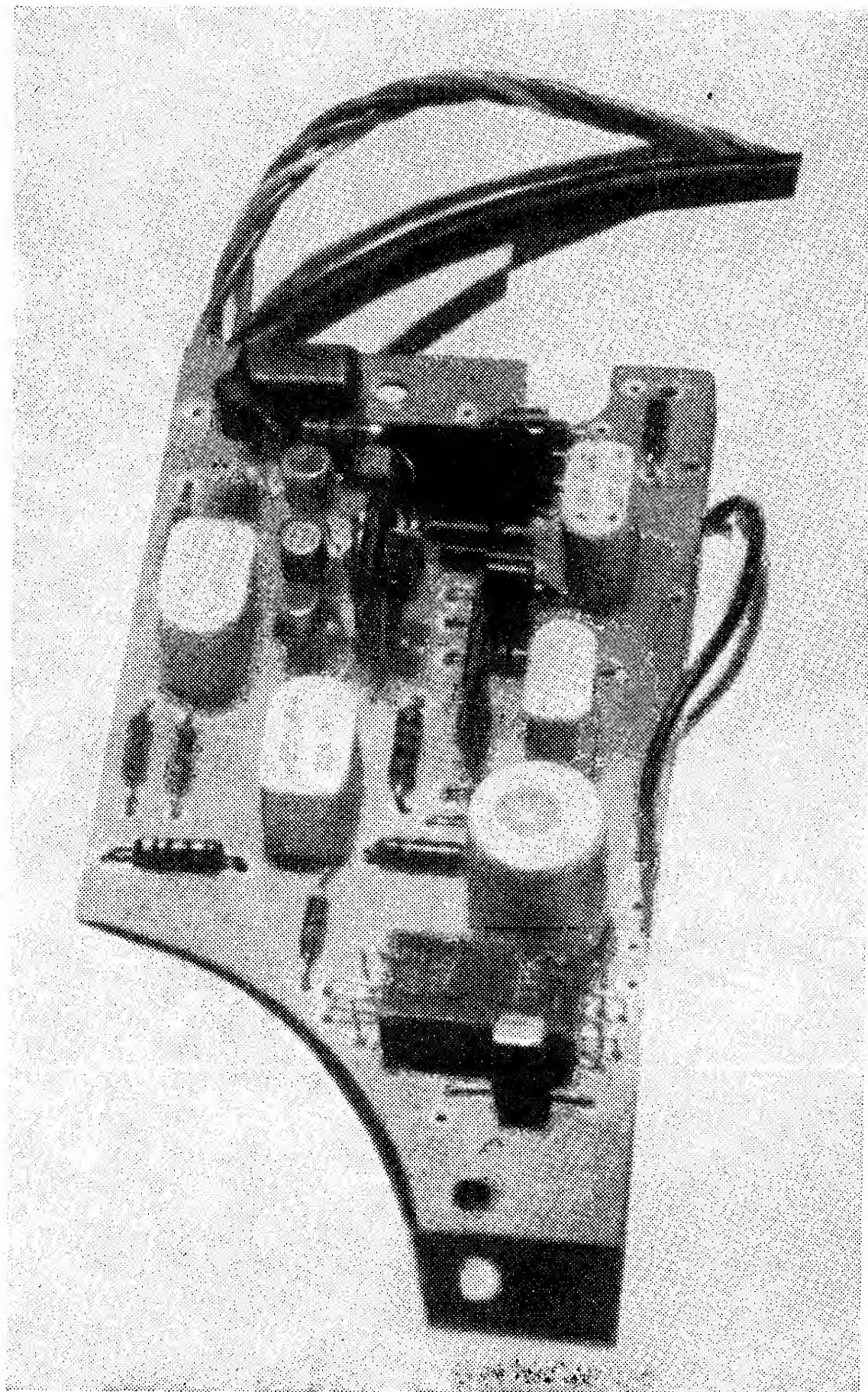
Kondenzátory:

- C_1 - 0,5 μ F/160 V, TC 171, MP - svitkový (nový)
- C_{z2} - 3,3 nF/100 V, TC 281, styroflex (nový)

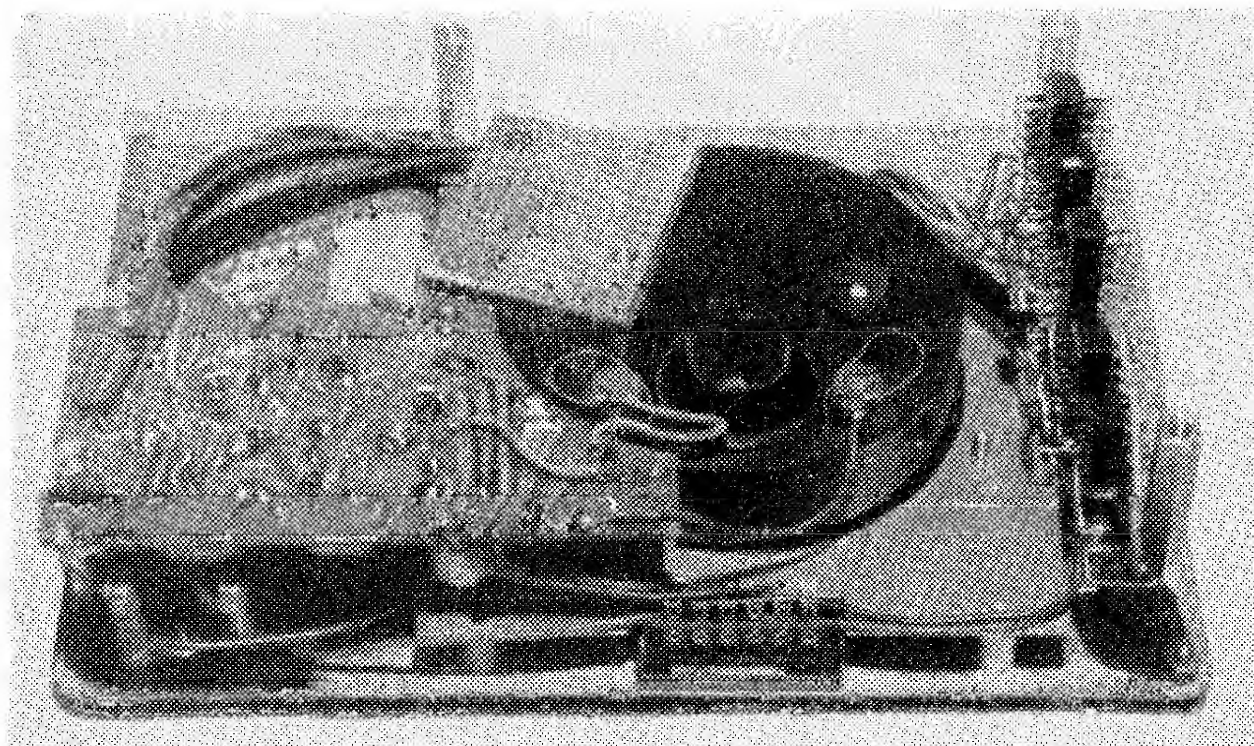
Tranzistory:

- T_1 - KF520 (Tesla) vybrat s co nejnižším šumem, nebo 2N3819 až 2N3823, TIS22, TIS58, TIS59, BF244 (Texas Instruments), BFW10 (Philips), MPF105 (Intermetall) apod.
- T_2, T_3 - KF507 nebo BFY39II (Intermetall) či BC107b (Philips, Valvo, AEG-Telefunken, Siemens, Ditratherm)
- T_4 - KF506 nebo BFY39II (Intermetall, SEL) (změna označení proti obr. 28)

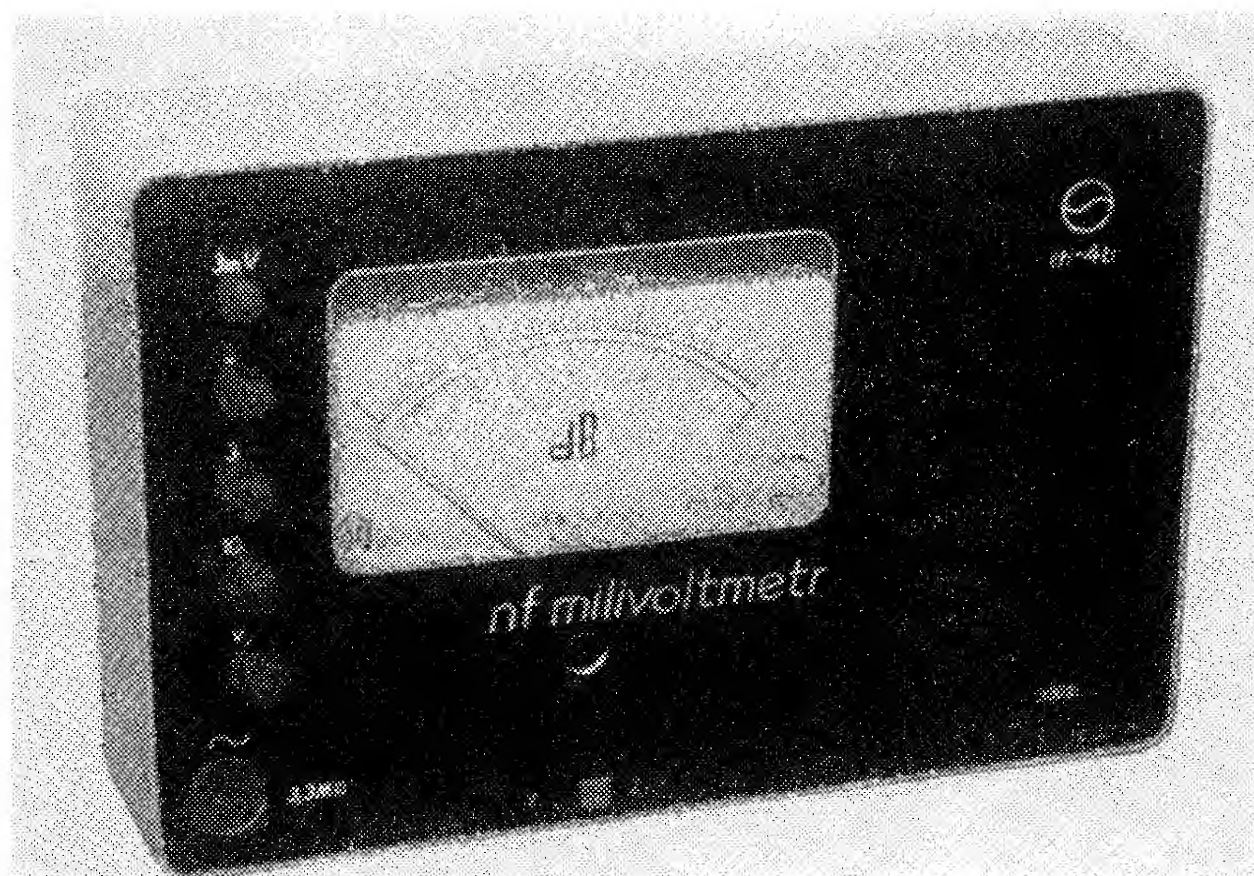
Přestože při použití tranzistoru řízeného polem na prvním stupni (T_1) lze dosáhnout vstupní impedance větší než 10 M Ω ,



Obr. 48. Destička B34 s osazenými a připojenými součástkami



Obr. 49. Nf milivoltmetr s vestavěnou destičkou součástek



Obr. 50. Sestavený a dohotovený nf milivoltmetr v ochranné kovové skříni

byla vstupní impedance záměrně zmenšena odpory R_1 či R_2 na $3,3 \text{ M}\Omega$. To proto, aby příliš velká časová konstanta vstupní impedance se vstupní kapacitou nezpůsobovala nežádáný útlum při indikaci vf napětí, k čemuž lze popisovaný milivoltmetr též úspěšně používat (ačkoli je určen pro nízkofrekvenční měření).

A nyní několik poznámek k použití a ovládání tohoto měřicího přístroje.

Při zapnutí nf milivoltmetru vykývne ručka měřidla několikrát z výchozí nulové polohy až ke koncové zarážce. Tento jev je způsoben nabíjením a formováním vazebních a blokovacích elektrolytických kondenzátorů. Avšak po dvaceti vteřinách se náboje vyrovnají a ručka zaujme nulovou polohu. Tehdy je možno přístroj použít k měření. Obdobně i při přepínání jednotlivých měřicích rozsahů se setkáme s počátečními výkyvy ručky. V tomto případě však nastane vyrovnání již po pěti vteřinách. I při vypnutí přístroje překmitne ručka měřidla; tomuto překmitnutí můžeme zabránit, použijeme-li dvojitý spínač (tlačítkový či páčkový), jehož jednou dvojitou spínacími kontaktů zkratujeme měřidlo při vypnutí. To je dále výhodné i z toho důvodu, že vlastní systém měřidla je silně tlumen, takže odolává otřesům a případným nárazům při přenášení nebo cestování.

Popsané vyrovnávání nábojů na elektrolytických kondenzátorech při zapnutí, přepnutí a vypnutí přístroje je pochopitelně závislé na časových konstantách příslušných dvojic. Z toho důvodu se u některých výrobců setkáme s odpojitelnými paralelními kondenzátory, připojovanými pouze při měření na nejnižších kmitočtech. Je pochopitelné, že též i počet členů RC má vliv na vyrovnávání náboje při zapnutí či přepnutí. A to je též zdůvodnění, proč u pětitransistorového nf milivoltmetru je čas pro ustálení ručky poněkud delší proti alternativě s tranzistorem FET (zapojení z obr. 28 má více kondenzátorů).

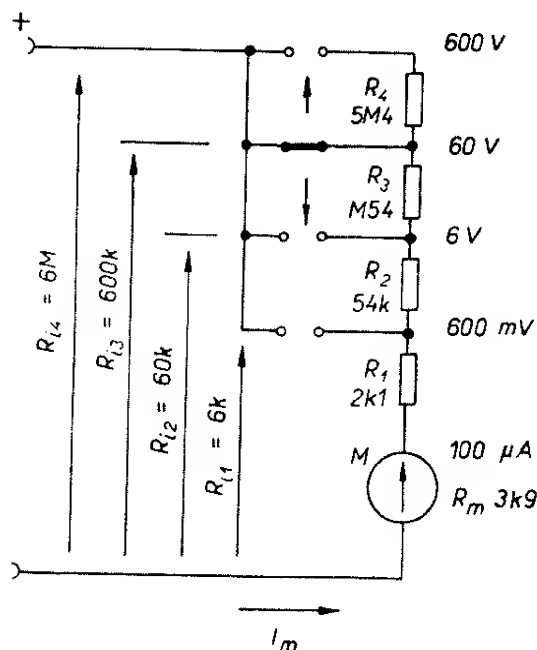
Měření s popsáním přístrojem je velmi pohodlné; jako jednu z výhod jistě ocení každý uživatel nezávislost na síti; při skutečně minimálním odběru z jedné ploché baterie (asi $2,5 \text{ mA}$) je zaručena provozuschopnost minimálně 300 hod.

Elektronické voltmetry pro měření ss napětí

Nejjednodušší měřicí přístroj pro měření stejnosměrných napětí se skládá z citlivého měřidla – mikroampérmetru – a z několika předřadných odporů zapojených s měřidlem v sérii. Jednotlivé odpory jsou vyvedeny na zdířky nebo jsou přepínány vícepolohovým přepínačem (obr. 51). Podle citlivosti měřidla a hodnot předřadných odporů lze měřit napětí od stovek milivoltů až do několika set voltů, popř. při použití izolované hlavice (sondy) s dalšími předřadnými odpory až do řádu kV.

V žádném případě však tyto měřicí přístroje nenazýváme elektronickými voltmetry, neboť na jejich činnosti se rozhodujícím způsobem nepodílí nějaký aktivní elektronický prvek (elektronka, tranzistor apod.).

Hlavní nevýhodou těchto přístrojů je jejich spotřeba, určovaná proudem protékajícím měřidlem při maximální výchylce, která zatěžuje měřenou soustavu a tak způsobuje (podle „tvrdosti“ zdroje měřeného signálu) větší či menší chybu měření. Spotřeba měřicích přístrojů tohoto



Obr. 51. Typické zapojení stejnosměrného voltmetru s odporem $10 \text{ k}\Omega/1 \text{ V}$. Vnitřní odpor R_i takového měřicího přístroje je na každém rozsahu jiný

druhu se charakterizuje tzv. odporem na 1 V. Tento parametr se u běžných přístrojů pohybuje mezi 10 kΩ až 20 kΩ/1 V (platí pro měřidla se základní citlivostí pro plnou výchylku 100 μA nebo 50 μA); její označení bývá většinou uvedeno na stupnici měřidla. Její význam tkví v tom, že informuje uživatele o tom, jak veliký „paralelní odpor“ k měřené soustavě představuje připojený měřicí přístroj na tom či onom rozsahu v okamžiku měření. Tento stav si nejlépe objasníme na příkladu.

Nejjednodušší měřicí přístroj stejnosměrného napětí

Na obr. 51 je zapojení jednoduchého voltmetru s několika měřicími rozsahy (0,6 V; 6 V; 60 V a 600 V). Protože se použilo měřidlo se základní citlivostí $I_m = 100 \mu A$, je charakteristický odpor $R_v = 10 \text{ k}\Omega$ na 1 V.

K vyjádření velikosti charakteristického odporu R_v dojdeme následující úvahou. Každé měřidlo je charakterizováno celkem třemi parametry. Jsou to:

1. vnitřní odpor měřidla R_m ,
2. základní proudová citlivost I_m ,
3. základní napěťová citlivost U_m .

Tyto tři parametry na sobě závisí podle Ohmova zákona vztahem

$$U_m = R_m I_m \quad [V; k\Omega, mA]$$

Obvykle však známe pouze jeden z nich, a sice základní proudovou citlivost I_m ; to pro návrh předřadných či paralelních odporů měřicího přístroje nestačí. Vnitřní odpor měřidla – což je odpor vinutí cívky měřicího systému – se nalezne buď v katalogu výrobce, nebo ji zjistíme napěťovým ohmmetrem. Třetí parametr pak získáme již z výše uvedeného vztahu. Tak např. měřidlo DHR 5 o $I_m = 100 \mu A$ má vnitřní odpor $R_m = 3\,900 \Omega$ a tudíž základní napěťovou citlivost U_m (tj. max. výchylku ručky) odpovídající napětí 0,39 V. Z toho vyplývá, že mikroampérmetr DHR 5/100 μA lze použít i pro měření napětí. Je ovšem pochopitelné, že vzhledem k nepříznivému a neobvyklému dělení stupnice by celková výchylka 0,39 V nebyla vhodná. Proto se mění –

předřadným odporem – na výchylku v hodnotě celého čísla. Nás však především zajímá, jak veliký bude muset být celkový odpor obvodu měřidla (tj. předřadný odpor R_p + odpor R_m) pro jednotkové napětí 1 V, který označujeme symbolem R_v a nazýváme charakteristický odpor. Úměrou zjistíme, že

$$\frac{U_m}{R_m} = \frac{1}{R_v} = \frac{R_m I_m}{R_m},$$

z čehož vyplývá:

$$R_v = 1/I_m \quad [k\Omega; —, mA]$$

V daném případě je tedy $R_v = 1/0,1 = 10 \text{ k}\Omega$.

Pro výchylku úměrnou napětí 1 V by tedy musel být celkový odpor v obvodu měřidla 10 kΩ; pro 2 V – 20 kΩ, pro 3 V – 30 kΩ atd. (Protože však odpor R_m není nulový, je nutno jeho hodnotu od R_v odečíst, čímž obdržíme velikost předřadného odporu R_p pro rozsah 1 V, tedy: $R_{p1V} = R_v - R_m = 10 - 3,9 = 6,1 \text{ k}\Omega$, $R_{p2V} = 2R_v - R_m$, $R_{p3V} = 3R_v - R_m$ ). Z uvedeného je tedy patrné, že na každý volt napětí požadovaného rozsahu voltmetru musí být v obvodu odpor R_v , který se rovná převrácené hodnotě základního proudového rozsahu I_m použitého měřidla.

Pomocí charakteristického odporu R_v lze tedy vypočítat předřadný odpor pro libovolný napěťový rozsah U_i podle vztahu:

$$R_p = (U_i - U_m) R_v \quad [\Omega; V, \Omega] \quad (9)$$

kde U_i je žádaný napěťový rozsah,

U_m charakteristický odpor použitého měřidla na 1 V a

R_p předřadný odpor.

Odporem R_v se i vymezuje oblast použití toho či onoho měřidla. Tato skutečnost totiž vyplývá z vnitřního odporu měřicího přístroje R_i , který v daném příkladu (podle obr. 52) je na každém rozsahu jiný ($R_{i-0,6V} = 6 \text{ k}\Omega$; $R_{i-6V} = 60 \text{ k}\Omega$; $R_{i-60V} = 600 \text{ k}\Omega$ a $R_{i-600V} = 6 \text{ M}\Omega$). Pro některé zdroje napětí je téměř nepodstatné, jsou-li zatíženy rozdílným vnitřním odporem připojeného měřicího pří-

stroje; to platí pro akumulátor, síťový napáječ apod., tedy pro tvrdé zdroje. Případná chyba v krajním případě nedosahuje 10 % (např. při měření provozního napětí za eliminátorem) a je proto nedůležitá. Jiná situace nastane, chceme-li zjistit třeba velikost mřížkového předpětí nějaké elektronky, např. obrazovky v televizoru. V takovém případě malý vnitřní odpor měřicího přístroje (ve srovnání s vnitřním odporem měřené soustavy) způsobí po připojení změnu proudových poměrů v měřeném místě a pokles svorkového napětí – a to podle poměrů až o 99 % – a tím i závažnou chybu. Výsledek měření pak vůbec neodpovídá skutečnosti.

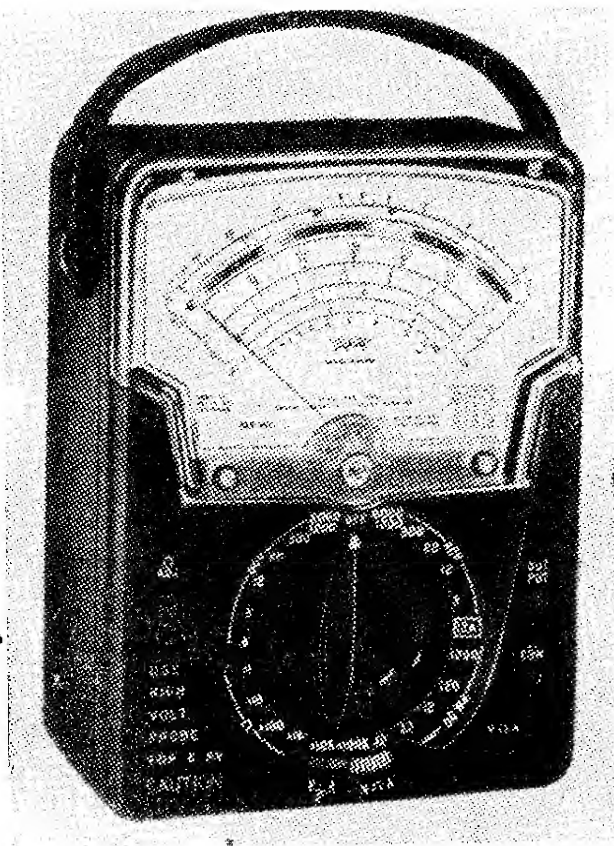
Chyba je menší, volíme-li vyšší rozsah měřicího přístroje, na němž má pochopitelně větší vnitřní odpor a kde tedy dochází k menšímu zatížení měřené soustavy. Tehdy ovšem je výchylka ručky menší a čtení méně přesnější. Jak patrné, ani tento kompromis nevede k přesnému výsledku. V tab. 3 jsou zaznamenány výsledky měření na soustavě s velkým vnitřním odporem (tzv. měkký zdroj), zjištěné výše popsáním měřicím přístrojem s vnitřním odporem R_i podle obr. 52, spolu s vyjádřením chyb v % (vzhledem ke skutečné velikosti).

Tabulka 3.

Zvolený rozsah měřicího přístroje	Vnitřní odpor R_i	Zjištěné napětí	Skutečné napětí	Chyba
0,6 V	6 k Ω	0,145 V	5,0 V	97 %
6,0 V	60 k Ω	1,3 V	5,0 V	74 %
60,0 V	600 k Ω	3,75 V	5,0 V	25 %
600,0 V	6 M Ω	4,85 V	5,0 V	3 %

Poznámka: Velikost zjištěného napětí byla při měření kontrolována elektronickým voltmetrem, paralelně připojeným k stejnosměrnému voltmetru. (Výchylka ručky stejnosměrného voltmetru není na vyšších rozsazích čitelná).

Z tabulky je patrné, že pro přesné měření je nutný co největší vnitřní odpor měřicího přístroje; ten závisí podle výrazu (9) na odporu R_v . Řekli jsme si již, že



Obr. 52. Zahraniční měřicí přístroj Triplet 630-NS s odporem 200 k Ω /1 V, jehož vnitřní odpor od rozsahu 6 V je řádu M Ω

u běžných výrobků bývá řádu desítek k Ω . Čím je větší, tím je obvykle měřidlo dražší – a bohužel i choulostivější. Jsou známy konstrukce měřicích přístrojů s odporem R_v až 200 k Ω /1 V (např. Triplet 630-NS na obr. 52, výrobek fy Triplet Electrical Instrument Company, USA, jehož cena je i úměrně vysoká, 105 \$). Takový měřicí přístroj je již na vyšších rozsazích srovnatelný s elektronickými voltmetry, protože jeho vnitřní odpor je od rozsahu 6 V řádu M Ω ($R_i - 6 \text{ V} = 1,2 \text{ M}\Omega$). Vysoká citlivost použitého měřidla (5 μA) si však vyžádala zvláštní úpravy hrotů otočného systému a přívodních vodičů, takže samotné měřidlo je též dosti drahé.

Důležitost vstupního (vnitřního) odporu R_i měřicího přístroje je tedy jistě každému zřejmá. Pro dosažení co nejvyššího vstupního odporu byly vyvinuty elektronkové (elektronické) voltmetry, s jejichž tranzistorizovanou verzí se seznámíme v následujících statích.

Základní zapojení jednoduchých tranzistorových stejnosměrných voltmetrů

Měřicí přístroje pro měření stejnosměrných napětí mohou být osazeny klasickými bipolárními tranzistory. Při použití unipolárních tranzistorů řízených polem se však dosahuje lepších vlastností, zejména teplotní stability, většího vstupního odporu, menšího počtu aktivních prvků atd.

Tak např. se dvěma tranzistory typu FET lze sestavit stejnosměrný voltmetr s velkým vstupním odporem (na všech rozsazích 11 MΩ), dobrou linearitou a se základním rozsahem 0,3 až 1,0 V (obr. 53). Schéma je funkčně totožné s oblíbeným „katodovým můstkem“ elektronkových voltmetrů. Protože je vstupní proud o několik řádů menší než u elektronek, může mít vstupní dělič R_1 až R_4 celkový odpor řádu desítek až stovek MΩ. Pro tyto účely a pro jiné diferenciální zesilovače byly v zahraničí dokonce vyvinuty dvojité tranzistory typu FET, např. 3N96 apod.

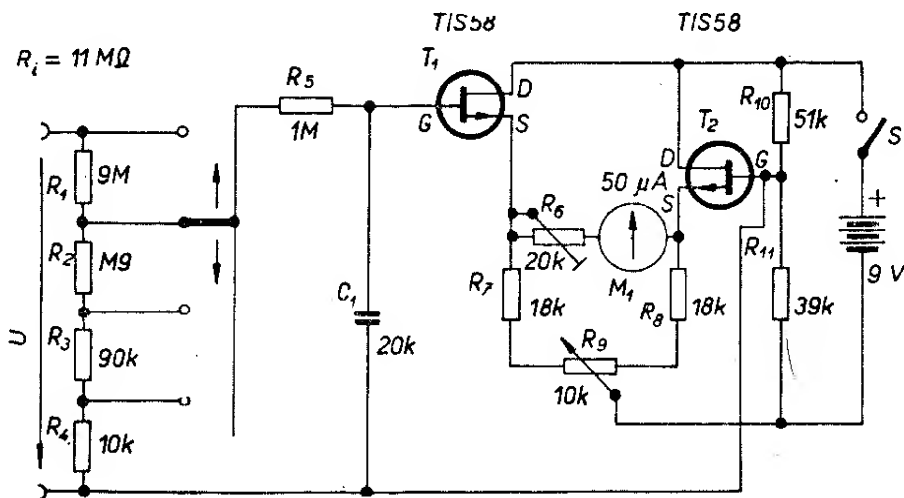
Voltmetr se uvádí do provozu spínačem S. Nula indikačního měřidla se nastavuje před měřením potenciometrem R_9 , základní rozsah (jednou provždy) odporovým trimrem R_6 . Podle strmosti použitých tranzistorů T_1 a T_2 a citlivosti měřidla M_1 je základní rozsah asi 1 V; další rozsahy jsou pak odstupňovány v poměru 1:10, 1:100 atd. Úpravou odporů děliče, popř. rozšířením počtu jeho členů lze dosáhnout i jiných přepínacích poměrů (1:1; 1:2; 1:10; 1:20 atd. nebo 1:1; 1:3; 1:10; 1:30 atd.).

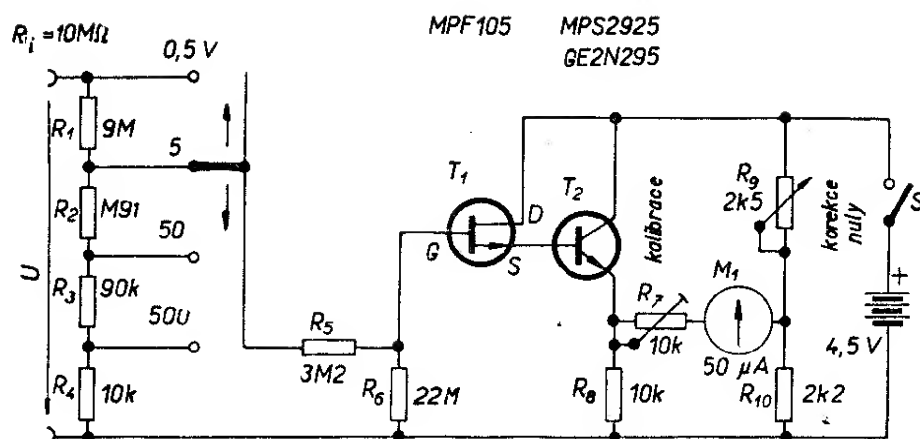
Protože jsou tranzistory FET z technologických důvodů dražší oproti běžným tranzistorům, odrážejí se jejich vyšší pořizovací náklady i ve snaze o maximální zjednodušení některých konstrukcí. Z této snahy vyplývá zapojení na obr. 54, které vzniklo z předcházejícího po vypuštění tranzistoru FET. Aby však byl vyrovnán pokles citlivosti na základním rozsahu, bylo nutno za T_1 zařadit emitorový sledovač T_2 (bipolární a proto levnější tranzistor). (K těmto a obdobným účelům se vyrábí i integrovaný obvod složený z tranzistoru MOSFET a jednoho bipolárního tranzistoru ve společném pouzdře TO5, např. typ TAA320 fy Rastra Electronics Ltd. v Anglii).

Jak patrně, vstupní dělič zůstal beze změny. Byl vypuštěn kondenzátor C_1 , který sloužil k odstranění proniknuvších zbytků střídavých napětí (například při měření napětí na obvodech AVC). Vzhledem k tomu, že elektroda G tranzistoru T_1 je uzemněna odporem R_6 , je vstupní odpor na základním rozsahu (0,5 V) 9 MΩ; na ostatních pak větší než 10 MΩ. Odpor R_6 má ochrannou funkci – chrání citlivý tranzistor FET proti přetížení napětovou špičkou při případné chybné volbě měřicího rozsahu nebo při dotyku měřicího hrotu na bod s vyšším napětím než je maximum nastaveného rozsahu. Základní rozsah se nastavuje odporovým trimrem R_7 , korekce nuly (tj. vyrovnání můstku) potenciometrem R_9 , jehož hřídel je za tímto účelem vyveden na čelní panel měřicího přístroje.

Oba uvedené případy poslouží i jako návod pro amatérskou aplikaci jednodu-

Obr. 53. Nejjednodušší zapojení tranzistorového voltmetru pro měření stejnosměrných napětí s velkým vstupním odporem s dvěma tranzistory FET





Obr. 54. Zapojení jednoduchého tranzistorového voltmetru s velkým vstupním odporem s jedním tranzistorem FET a jedním bipolárním tranzistorem

chými prostředky s použitím tranzistorů MOSFET naší výroby (KF520 – Tesla). Při použití tranzistoru typu MOS je však nutno mít na paměti, že oproti tranzistorům FET mají podstatně větší šum (až o 10 až 20 dB – zejména v nf oblasti).

Ukázky komerčních zapojení tranzistorových voltmetrů

Tranzistorové voltmetry, pracující na principu popsaném v předešlém článku a doplněné o další obvody pro měření odporů, popřípadě i proudů, jsou vyráběny některými iniciativními výrobci, kteří správně pochopili, jaké výhody poskytuje uživateli nezávislost na síti a ostatní příznivé vlastnosti moderních polovodičů.

Jako první ukázkou uvádím *univerzální tranzistorový měřicí přístroj* firmy Nordmende (NSR), typ TVM 396 (obr. 55). Je to elektronický tranzistorový měřicí přístroj s mnoha rozsahy, který umožňuje měření střídavých a stejnosměrných napětí, stejnosměrných proudů a odporů. Požadovaný měřicí rozsah se volí jedním speciálním vícepólovým přepínačem $Př_1$ (obr. 56), přičemž se pro střídavé měření používá přepínač $Př_2$, připojující ke vstupu usměrňovací diody D_1 a D_2 . Aby se zjednodušil přepínač, je vstup opatřen čtyřmi svorkami, z nichž jedna (označená symbolickou značkou země) je společná pro všechna měření (Ω , A, V). Přístroj se zapíná přepínačem $Př_3$ [obr. 55 (3. str. obálky)] vlevo pod svorkou „ Ω “. Přístroj je vybaven dvojitou lineární stupnicí pro střídavá a stejnosměrná napětí a stejnosměrné proudy, dále samostatnou stup-

nicí pro měření odporů a samostatnou stupnicí pro první rozsah měření střídavého napětí (1 V).

Jako vlastní elektronická část měřicího přístroje slouží stejnosměrný můstkový symetrický zesilovač, jehož každá polovina je osazena dvěma tranzistory. První – vstupní – je unipolární polem řízený tranzistor (T_1 , T_2 , zapojený jako sledovač signálu, na jehož elektrodu S je přímo navázána báze bipolárního křemíkového tranzistoru (T_3 , T_4), zapojeného též jako sledovač. V úhlopříčce můstku, tj. mezi emitory T_3 a T_4 , je měřidlo se sériově připojeným nastavitelným předřadným odporem, jímž se seřizuje koncová výchylka měřidla v souladu s požadovaným základním rozsahem. Měřidlo je blokováno kondenzátory C_4 a C_5 proti zbytkům střídavého nebo vf napětí. Stejnou funkci má i kondenzátor C_3 , připojený na elektrodu G vstupního tranzistoru T_1 . Zesilovač je buzen malým stejnosměrným napětím, jež se odebírá ze vstupního děliče s velkou impedancí. Při měření střídavých napětí nebo vf napětí se měřený signál nejprve usměrní diodami D_1 a D_2 (jednocestně) a teprve potom přivádí na vstupní dělič. Usměrňovací obvod se skládá (kromě diod) ze dvou odporů R_{18} a R_{19} , vyhlazovacího kondenzátoru C_1 a odporového trimru R_{30} , který slouží současně ke kalibraci střídavého napětí (na základním rozsahu).

Přístroj se napájí z baterie 3 V, která má vzhledem k nepatrnému proudovému odběru zesilovače životnost asi 400 hodin. Pro měření odporů se používá další baterie tužkového typu a napětí 1,5 V.

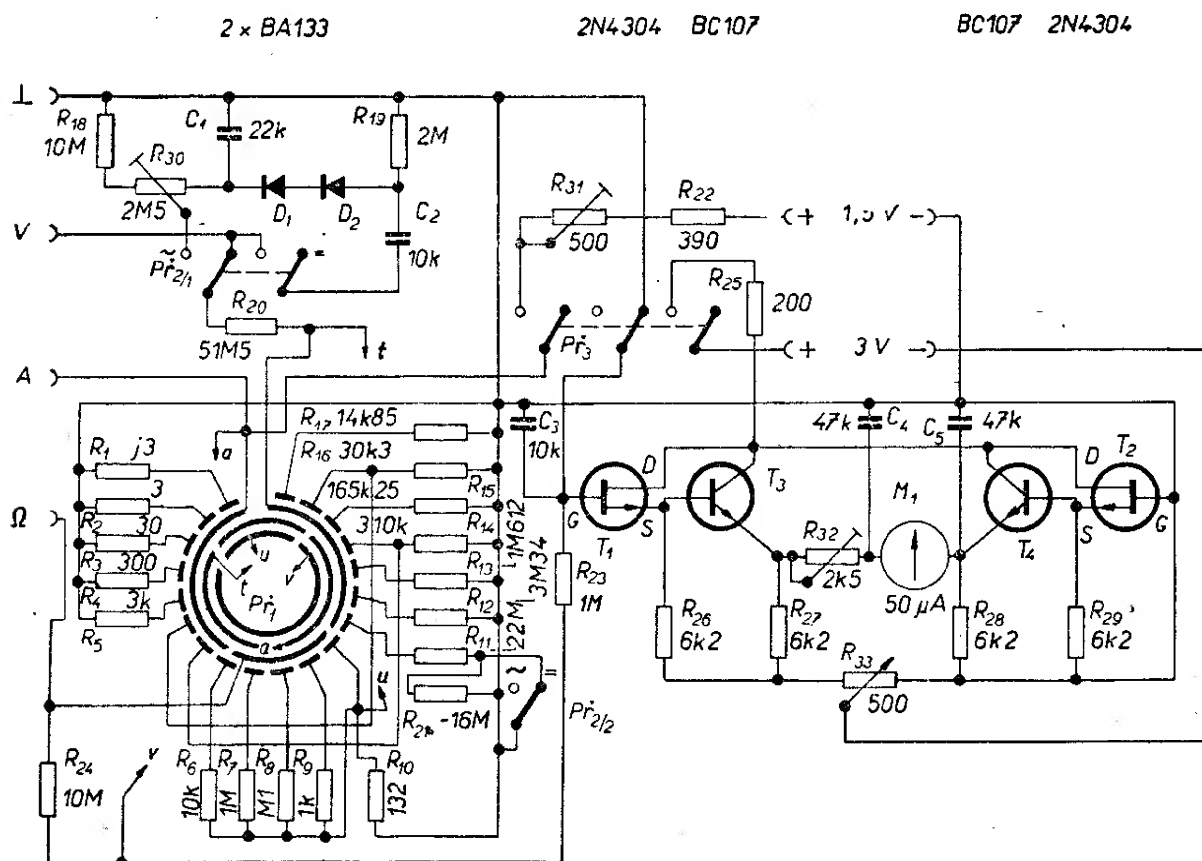
V důsledku použití polem řízených tranzistorů je vstupní odpor měřicího přístroje 50 MΩ na všech rozsazích stejnosměrných měření s výjimkou rozsahu „1 V“, na němž je vstupní odpor 75 MΩ. Z předcházejících úvah je čtenáři jistě jasné, že měřicí přístroj s tak značným vstupním odporem prakticky nezatěžuje měřené soustavy. Z toho důvodu je vhodný pro použití ve značně široké oblasti měření (televizní a přijímačová technika, nf zesilovače, vf zesilovače, obvody automatizace apod.). Je ovšem nutno mít na paměti, že vstupní impedance přístroje při měření střídavých a vf napětí je pouze 1,5 MΩ/20 pF při kmitočtové charakteristice 20 Hz až 5 MHz, —3 dB.

Stejnoseměrný zesilovač má v můstkovém zapojení a s vhodně volenými odpory zanedbatelný drift (kolísání nuly). K vyrovnání můstku a tím i nuly indikačního měřidla slouží potenciometr R_{33} . Můstek se vyrovná před měřením asi po dvou minutách po zapnutí. (Tento potenciometr

se ovládá zapuštěným kruhovým knoflíkem, umístěným na spodní straně měřicího přístroje. Na obr. 55 není R_{33} patrný!).

Posledním proměnným odporem R_{31} (odporový trimr) se vyrovnává pokles napětí baterie 1,5 V. Nastavuje se jím výchylka měřidla na značku ∞ (nekonečno) při otevřených vstupních svorkách, tzn. bez připojeného odporu určeného k proměření. Nastavuje se jednou za čas – podle stavu baterie. Ovládací hřídelík tohoto trimru je též vyveden na spodní straně měřicího přístroje v sousedství R_{33} .

Podle údajů výrobce není u tohoto přístroje nutná ochrana proti přetížení. Na všech rozsazích pro měření střídavého i stejnosměrného napětí je možno přetížít vstup efektivním napětím až 1,2 kV, aniž by došlo k poruše, tj. k průrazu vstupního tranzistoru FET. (Tato okolnost vyplývá z použití vstupního děliče s velkými odpory). Kombinovaný přepínač $P\check{r}_1$ spolu se vstupním děličem dovozuje měření v těchto rozsazích:



Obr. 56. Celkové zapojení univerzálního měřicího přístroje Nordmende TVM 396 osazeného tranzistory FET a dvěma křemíkovými tranzistory

Stejnoseměrná napětí – 0 až 1 V, 0 až 5 V, 0 až 10 V, 0 až 50 V, 0 až 100 V, 0 až 500 V, 0 až 1 000 V (po připojení vysokonapěťové sondy až do 30 kV) při přesnosti $\pm 1,5 \%$.

Střídavá napětí – 0 až 1 V, 0 až 5 V, 0 až 10 V, 0 až 50 V, 0 až 100 V, 0 až 500 V a 0 až 1 000 V s přesností $\pm 5 \%$, s kmitočtovým průběhem 20 Hz až 5 MHz, -3 dB.

Vf napětí – 0 až 1 V, 0 až 5 V, 0 až 10 V, 0 až 50 V při použití vf sondy (pro kmitočty nad 5 MHz) s přesností $\pm 4 \%$ s kmitočtovým průběhem 10 kHz až 100 MHz, -3 dB.

Stejnoseměrné proudy – 0 až 1 μ A, 0 až 10 μ A, 0 až 100 μ A, 0 až 1 mA, 0 až 10 mA, 0 až 100 mA a 0 až 1 A, s přesností $\pm 2 \%$.

Odpory – 10 Ω , 100 Ω , 1 k Ω , 100 k Ω , 1 M Ω – pro střed stupnice, s přesností $\pm 3 \%$.

Poznámka: protože pro stejnosměrná, střídavá i vf měření jsou rozsahy společné, má přepínač $P\check{r}_1$ celkem 20 poloh, z nichž 19 je funkčních a dvacátá je rezervní – viz obr. 56.

Měření proudů spočívá na principu měření úbytku napětí na známém odporu zařazeném do uzavřeného proudového okruhu. Z toho pochopitelně vyplývá rozdílný vnitřní odpor měřicího přístroje na proudových rozsazích. Tento odpor je 310 k Ω (1 μ A); 30,3 k Ω (10 μ A); 3 k Ω , 300 Ω , 30 Ω , 3 Ω a 0,3 Ω (1 A).

Obdobně při měření odporů se zjišťuje napěťový spád, který vzniká průtokem proudu z baterie 1,5 V na neznámém odporu. Napěťový spád – a též i proud – je úměrný velikosti odporu, čímž je současně dán průběh stupnice. Stupnice je společná pro všechny rozsahy a proto je třeba podle zvoleného rozsahu násobit čtení odpovídající zjištěné výchylce udanou střední

hodnotou. (Např. je nastaven rozsah 100 k Ω a přečtena výchylka „20“ na stupnici cejchované od 0 do 1 000. Měřený odpor je tedy $20 \cdot 100 \text{ k}\Omega = 2\,000 \text{ k}\Omega = 2 \text{ M}\Omega$).

Jako další a poslední ukázkou zajímavě řešeného univerzálního měřicího přístroje uvádím zapojení *sedmitranzistorového voltohmmetru firmy Heathkit (USA), typ IM-16*.

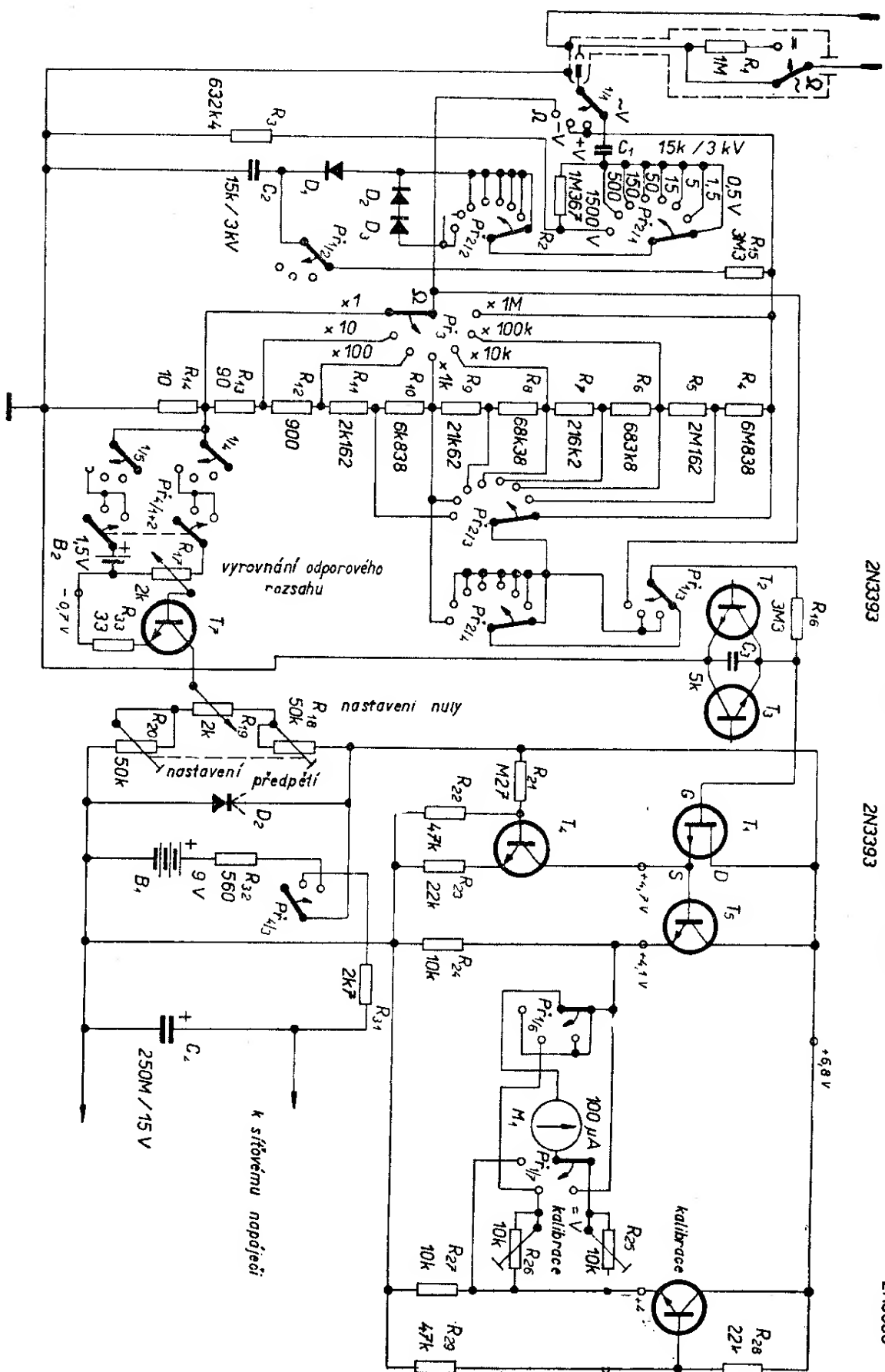
Na obr. 57 (3. str. obálky) je tento přístroj v tzv. „stolním“ provedení v unifikované kovové skříni – s velmi přehledným širokouhlým měřidlem (úhel vychýlení 100°).

Jeho zapojení (obr. 58) je poněkud složitější než u předešlého kapesního přístroje a jeho vlastnosti jsou o poznání lepší.

Princip zapojení je stejný jako u předcházejícího přístroje; avšak setkáme se zde s některými novými obvody, o jejichž funkci si povíme více. Můstkový zesilovač není symetrický, čímž se ušetří jeden tranzistor řízený polem.

Přístroj se ovládá čtyřmi přepínači $P\check{r}_1$ až $P\check{r}_4$ (obr. 58) a dvěma potenciometry R_{17} a R_{19} . Přepínač $P\check{r}_1$ slouží k volbě druhu měření, tzn. střídavých napětí, stejnosměrných napětí a odporů. Pro měření stejnosměrných napětí jsou určeny dvě polohy, takže není nutno respektovat polaritu přívodů při měření. (Vývody měřidla jsou v těchto dvou polohách propojeny opačně). Druhý přepínač $P\check{r}_2$ slouží k volbě rozsahu při měření napětí stejnosměrných i střídavých napětí. Lze volit tyto rozsahy: 0 až 0,5 V, 0 až 1,5 V, 0 až 5 V, 0 až 15 V, 0 až 50 V, 0 až 150 V, 0 až 500 V, 0 až 1 500 V. Třetí přepínač $P\check{r}_3$ slouží k volbě měřicích rozsahů při měření odporů; $\times 1 \Omega$, $\times 10 \Omega$, $\times 100 \Omega$, $\times 1 \text{ k}\Omega$, $\times 10 \text{ k}\Omega$, $\times 100 \text{ k}\Omega$ a $\times 1 \text{ M}\Omega$. Posledním přepínačem, který je třípolohový, se přístroj zapíná, přičemž lze volit jeho napájení buď z vestavěných baterií nebo ze síťového zdroje (s výhradou měření odporů, pro něž slouží i při napájení ze sítě vestavěná tužková baterie 1,5 V).

Dále je na čelní panel vyveden potenciometr R_{17} , jímž se vyrovnává nastavení ručky měřidla na konci stupnice při měření odporů. Potenciometrem R_{19} se nastavuje výchylka ručky na nulu před zahájením měření napětí.



2N3393 2N3393
2N3393

FET417-140 2N3393
2N3393

2N3393

Obr. 58. Celkové zapojení sedmitransistorového voltmetru IM-16 (Heathkit) (neoznačený tranzistor je T₆)

Proti přístroji IM-17, jehož popis jsem uvedl v AR 5/68, má tento měřicí přístroj pouze jeden přívodní kabel a jeden vstupní konektor, společný pro všechny druhy měření; toto řešení je z hlediska obsluhy praktičtější. V přívodním kabelu je na jeho počátku stíněná hlavice („sonda“), obsahující odpor R_1 , 1 M Ω , který lze odpinat. Tento odpor se využívá při měření stejnosměrných napětí a zabraňuje zatížení měřeného obvodu kapacitou kabelu. Podle poloh jednotlivých přepínačů $P\check{r}_1$, $P\check{r}_2$ nebo $P\check{r}_3$ přichází vstupní signál na ochranný odpor R_{16} buď přímo nebo přes dělič $R_4 - R_{14}$ či $R_2 - R_3$. Měřený signál přichází za ochranným odporem 3,3 M Ω (R_{16}) na elektrodu G tranzistoru T_1 . Pro ochranu tohoto tranzistoru (citlivého i na krátkodobé přetížení) je k jeho řídicí elektrodě G připojena elektronická přepětová „pojistka“. Mezi elektrodou G a zemí jsou totiž zapojeny antiparalelně dva tranzistory T_2 a T_3 s nezapojenými bázemi. Dráhy emitor-kolektor (T_2), popř. kolektor-emitor (T_3) působí v tomto zapojení jako diody polarizované v závěrném (nepropustném) směru a prochází jimi – až k dosažení jejich průrazného napětí (asi 9 V) – pouze zbytkový kolektorový proud I_{CE0} . Jakmile se však dostane ze vstupu vyšší napětí na elektrodu G (než je přípustné), je odpovídajícím způsobem pólovaný tranzistor tímto napětím přiveden do oblasti průrazu, kdy se jeho vnitřní odpor velmi rychle zmenší na velmi malou hodnotu (protože charakteristika průrazného napětí odpovídá charakteristice běžné Zenerovy diody). Předpětí mezi elektrodou G a zemí se zkratuje a nemůže tedy poškodit drahý a citlivý FET. Navíc nedochází ani k přetížení ochranného tranzistoru T_2 nebo T_3 , neboť proud procházející jimi při zkratu je omezen odporem R_{16} na zanedbatelnou velikost.

Polem řízený tranzistor T_1 (FET) pracuje jako sledovač, přičemž pracovní odpor jeho elektrody S tvoří přechod kolektor-emitor tranzistoru T_4 a odpor R_{23} . Pracovní bod T_4 je nastaven a stabilizován velikostmi odporů R_{21} , R_{22} a R_{23} . Vlastní můstek tvoří tranzistory T_5 a T_6 se svými emitorovými odpory R_{24} a R_{27} , mezi nimiž je měřidlo M_1 v sérii s kalibračními potenciometry R_{25} (kalibrace základního

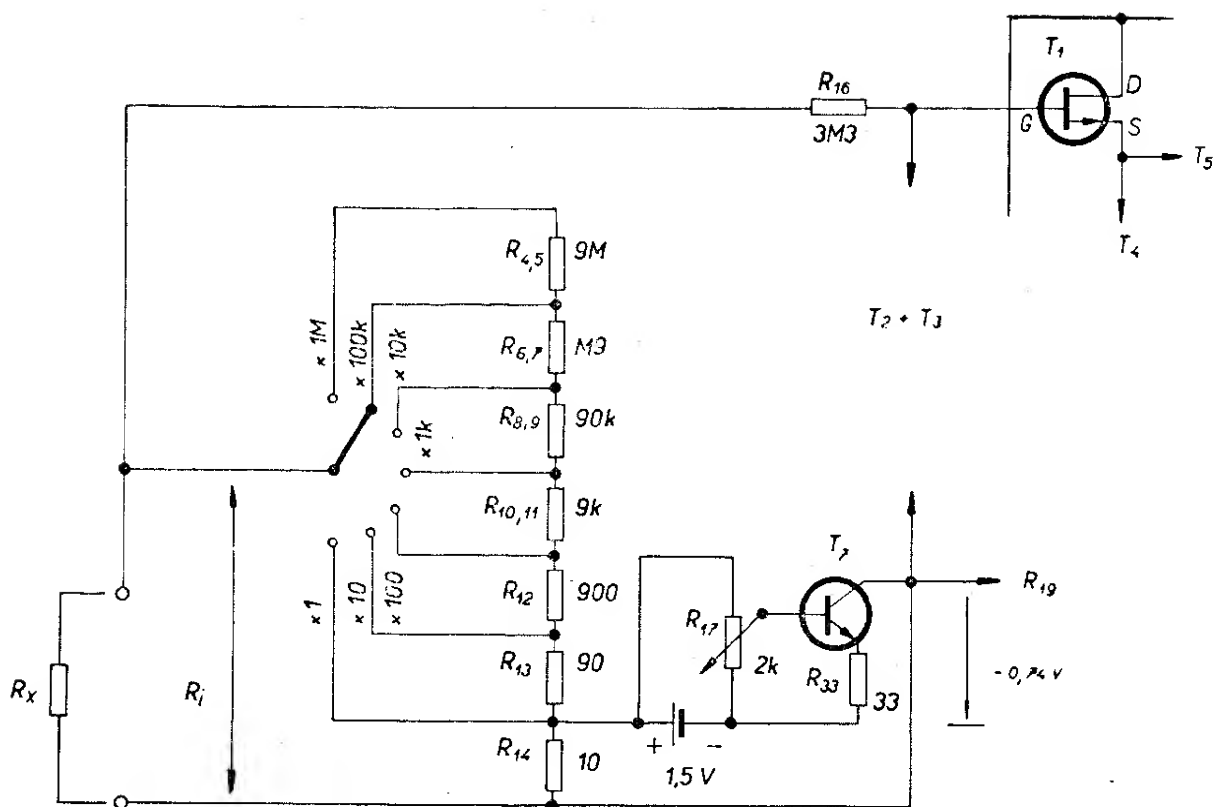
rozsahu střídavého napětí) a R_{26} (kalibrace základního rozsahu stejnosměrného napětí). Je-li můstek vyvážen a nepřivádí-li se žádné napětí na elektrodu G tranzistoru T_1 , pak ručka měřidla ukazuje na nulu.

Nula můstku se nastavuje změnou předpětí elektrody G_{T_1} odporovými trimry R_{18} a R_{20} (hrubě – jednou provždy podle středního napětí použitého zdroje) a R_{19} (jemně). Nastavení nuly se kontroluje před začátkem měření – popřípadě se (při odchylce) poopraví pohybem běžce R_{19} (jeho hřídel je vyveden na čelní panel, obr. 57). Přivede-li se pak nějaké napětí na elektrodu G, je napětová rovnováha můstku porušena a ručka měřidla M_1 ukáže výchylku úměrnou velikosti přivedeného (měřeného) napětí. Přitom je průběh stupnice na stejnosměrných rozsazích naprosto lineární; na střídavých rozsazích je linearita poněkud horší pouze na prvním rozsahu (0,5 V), na vyšších je téměř dokonalá (viz stupnici na obr. 57 – 3. str. obálky).

Napájecí napětí přístroje se stabilizuje Zenerovou diodou D_2 ($U_z \doteq 8$ V). K teplotní stabilizaci můstkového zesilovače přispívají značnou měrou emitorové odpory R_{23} , R_{24} a R_{27} řádu desítek k Ω .

K měření odporů slouží baterie B_2 (1,5 V), která je vlastně v sérii s měřeným odporem R_x a právě zařazeným odporem děliče R_i (obr. 59), přičemž napětový spád na R_x působí jako předpětí elektrody G tranzistoru T_1 . Můstek je ovšem vyrovnán tak, že při $R_x = 0$ ukazuje ručka měřidla právě na koncovou značku stupnice (označenou pochopitelně jako „0“). Je-li tedy $R_x = R_i$, ukáže ručka měřidla právě na střed stupnice (např. 10 Ω v prvním měřicím rozsahu 0 až 1 000 Ω). Jinak průběh stupnice se dá odvodit známým způsobem podle Ohmova zákona či zkusmo přesnou odporovou dekadou. K vyrovnání (kalibraci) při měření odporů slouží potenciometr R_{17} , který ovládá činnost tranzistoru T_7 , pracujícího jako říditelný odpor (jehož hodnota se mění v závislosti na předpětí báze).

Linearita stupnice je dokonalá při měření na stejnosměrných rozsazích pouze při použití běžných magnetoelektrických měřidel (s otočnou cívkou) při maximálním vychylovacím úhlu 90°. V popisovaném



Obr. 59. Zjednodušené zapojení z obr. 58 při měření odporů

továrním výrobku se však používá moderní měřidlo, sice také magnetoelektrické, avšak v důsledku požadovaného úhlu vychýlení 100° se speciálně upravenými pólovými nastavci. Tato okolnost má za následek, že otočná cívka měřidla se v celé své dráze nepohybuje v magneticky homogenním poli (v poli stejné intenzity). Z toho důvodu je průběh stupnice v pravé „polovině“ poněkud zhuštěnější, což však je patrné pouze při bedlivějším pozorování stupnice – a není vůbec na závadu.

Při měření střídavých napětí je vstupní signál nejprve usměrněn diodou D_1 (do rozsahu 0 až 150 V), popřípadě dalšími v sérii zapojenými diodami D_2 a D_3 (na rozsazích 0 až 500 V a 0 až 1 500 V) a pak teprve přiveden na hlavní dělič. Aby se zabránilo přetížení diod na nejvyšším rozsahu (1 500 V), je vstupní signál (ještě před tím, než dojde k diodám) zmenšen na jednu třetinu původní velikosti děličem R_2 , R_3 . Po zmenšení napětí na hlavním děliči pokračuje cesta měř-

ného signálu přes ochranný odpor R_{16} na vstupní elektrodu G tranzistoru T_1 .

Pro všechny rozsahy stejnosměrných napětí platí jen jedna společná stupnice; pro měření střídavých napětí je na měřidle celkem 5 stupnic, z nichž poslední (pro rozsah 0 až 50 V) je společná pro všechny následující vyšší rozsahy. Tato skutečnost je zdůvodněna vlivem zakřivené (nelineární) charakteristiky usměrňovacích diod, která se uplatňuje tím více, čím je zvolen nižší napětový rozsah. Přes nelinearitu stupnice lze však číst na stupnici při nejnižším rozsahu napětí od 0,1 V velmi spolehlivě a přesně.

Aby se dosáhlo dostatečné přesnosti měřícího přístroje, používají se v hlavním napětovém děliči odpory s přesností $\pm 1\%$. Malé tolerance odporů spolu se zaručenou přesností měřidla ($\pm 2\%$) umožňují měřit na stejnosměrných rozsazích s celkovou přesností $\pm 3\%$. Při měření střídavých napětí se pochopitelně musí počítat s nelinearitou diod a s vlivem doplňkového děliče R_2 , R_3 . Ale i tak

nepřekračuje v této oblasti měření chyba $\pm 5\%$ celkové výchylky.

Nakonec je nutno ještě uvést, že vstupní impedance přístroje je na stejnosměrných rozsazích $11\text{ M}\Omega$, na střídavých $1\text{ M}\Omega$. Z toho vyplývá, že přístroj je vhodný pro širokou oblast měření – jak již bylo uvedeno v předcházející stati.

Jednoduchý třítranzistorový voltohmmetr s velkým vstupním odporem

Z výše uvedených příkladů zapojení stejnosměrných voltmetrů s velkým vstupním odporem vyplynula jednoduchá amatérská konstrukce třítranzistorového měřicího přístroje. Vzhledem k požadované jednoduchosti bylo upuštěno od možnosti měření střídavých napětí. K tomu účelu slouží při podstatně širších možnostech použití již popsany nf milivoltmetr. Naproti tomu byla zachována možnost měření odporů ve čtyřech navzájem se překrývajících rozsazích, tj. od $0,1\ \Omega$ do $1\ 000\text{ M}\Omega$.

Celkové zapojení tohoto přístroje je na obr. 60. Jeho základní zapojení se příliš neliší od uvedených; není proto třeba zvlášť popisovat jeho funkci – pouze přepětová ochrana je zajištěna místo poměrně drahými křemíkovými tranzistory členem R_8C_2 – viz dále.

V obvodu „nastavení nuly“ bylo navrženo další zjednodušení, spočívající ve zvětšení odporu ovládacího potenciometru ($R_{10} = 22\text{ k}\Omega$) a v nahrazení odporových trimrů dvěma odpory s vhodně volenými hodnotami ($R_9 = 10\text{ k}\Omega$, $R_{11} = 10\text{ k}\Omega$). Tato úprava má za následek poněkud hrubší nastavení nulové výchylky, naproti tomu vyhledání nuly (při uvádění do chodu) je snazší.

Přepínač funkcí $P\check{r}_1$ ($V - \Omega$) je dvoupolohový, čtyřnásobný. Lze použít výrobek Tesla Vráble, popřípadě již dříve uvedený páčkový přepínač (vlnový přepínač tranzistorového přijímače Hitachi – náhradní díl), popřípadě jiný typ, který však musí vykazovat minimální přechodový odpor spojených kontaktů. (Uzemňuje totiž hlavní dělič přes odpor R_6 či R_7 , čímž se současně přivádí požadované předpětí na elektrodu G tranzistoru T_1 .

Mají-li kontakty velký přechodový odpor, který se navíc mění, není klidové předpětí konstantní a elektroda G nemá svod, což se projevuje náhlým kolísáním ručky měřidla).

Přepínač rozsahů $P\check{r}_2$ je čtyřpolohový, dvojnásobný, taktéž výrobek Tesla Vráble. I zde platí pro použití jiného typu to, co bylo řečeno o minimálním přechodovém odporu kontaktů u přepínače $P\check{r}_1$.

Technické vlastnosti

Vstupní odpor na všech rozsazích pro ss měření: $10\text{ M}\Omega$.

Napětové rozsahy: 0 až 1 V, 0 až 10 V, 0 až 100 V, 0 až 1 000 V.

Odporové rozsahy: 1 až $100\ \Omega$ (možnost čtení $0,1\ \Omega$ až $1\text{ k}\Omega$), $100\ \Omega$ až $10\text{ k}\Omega$ (možnost čtení $10\ \Omega$ až $0,1\text{ M}\Omega$), $10\text{ k}\Omega$ až $1\text{ M}\Omega$ (možnost čtení $1\text{ k}\Omega$ až $10\text{ M}\Omega$), $1\text{ M}\Omega$ až $100\text{ M}\Omega$ (možnost čtení $0,1\text{ M}\Omega$ až $1\ 000\text{ M}\Omega$).

Napájení: pouze z vestavěných baterií – destičková baterie 9 V,

– tužková baterie 1,5 V.

Odběr: z baterie B_2 – 2 mA, z baterie B_1 pouze při měření odporů, a to v závislosti na velikosti měřeného odporu (v prvním rozsahu při $R_x = 0$ je $I_{B1\text{max}} = 0,15\text{ A}$).

Přesnost: $\pm 3\%$.

Rozměry: $200 \times 132 \times 47\text{ mm}$.

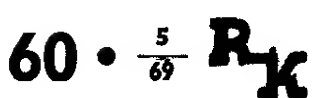
Váha: asi 0,8 kg.

Mechanická konstrukce

Základem přístroje je duralový panel o rozměrech $198 \times 130\text{ mm}$ tloušťky 2 mm, podpíraný čtyřmi distančními tyčkami (obr. 61). Je to tedy mechanická koncepce známá čtenáři z předcházejících konstrukcí, proto nebudou jednotlivé díly rozkresleny (4. str. obálky).

Měřicí přístroj je umístěn v levé polovině panelu. Vedle něj je spodní mezípanel, upevněný dvěma distančními trubkami. Spodní mezípanel nese oba přepínače a cuprexitovou destičku s hlavními součástkami. Rozložení součástek na cuprexitové destičce s plošnými spoji je na obr. 62.

Vzhledem k tomu, že je odpor laminovaného materiálu na 1 cm délky asi



Obr. 60. Celkové zapojení jednoduchého amatérského volohmetru s velkým vstupním odporem (10 MΩ), osazeného pouze třemi tranzistory

70 až 100 M Ω , je nutno do opracované destičky udělat zářez tak, jak je naznačeno na obr. 62. To proto, aby odpor desky nepůsobil jako nežádoucí svod mezi body 1 a 1' (obr. 60). Ze stejného důvodu jsou plošné spoje navrženy „systémem spojových čar“ a nikoli „systémem spojových ploch“. V místech, kde se předpokládá připájení kablíku, popřípadě součástí vydaných určitému namáhání při obsluze (jako je např. trimr R_{10} a R_{18}), jsou konce spojových čar zajištěny dutými pájecími nýtky o \varnothing 2 mm.

Na destičce jsou připevněny pouze ty součástky, které jsou na obr. 60 ve šrafovaném rámečku – mimo měřidlo M_1 . Jinak ostatní zbývající odpory jsou připájeny přímo k vývodům hlavního přepínače $Př_2$ a přepínače funkcí $Př_1$.

Jako konektor se opět používá dvou-pólový konektor Tesla (určený k připojování reproduktorů k magnetofonům či zesilovačům). Je to stejný typ, jaký je použit u konstrukce nf milivoltmetru (obr. 49) v pravém rohu dole. Protože tento konektor, vlastně jeho panelová část – má dvojí možnost připojení šňůry (což v našem případě není potřebné), vyjmeme přepínací kontaktní pružiny

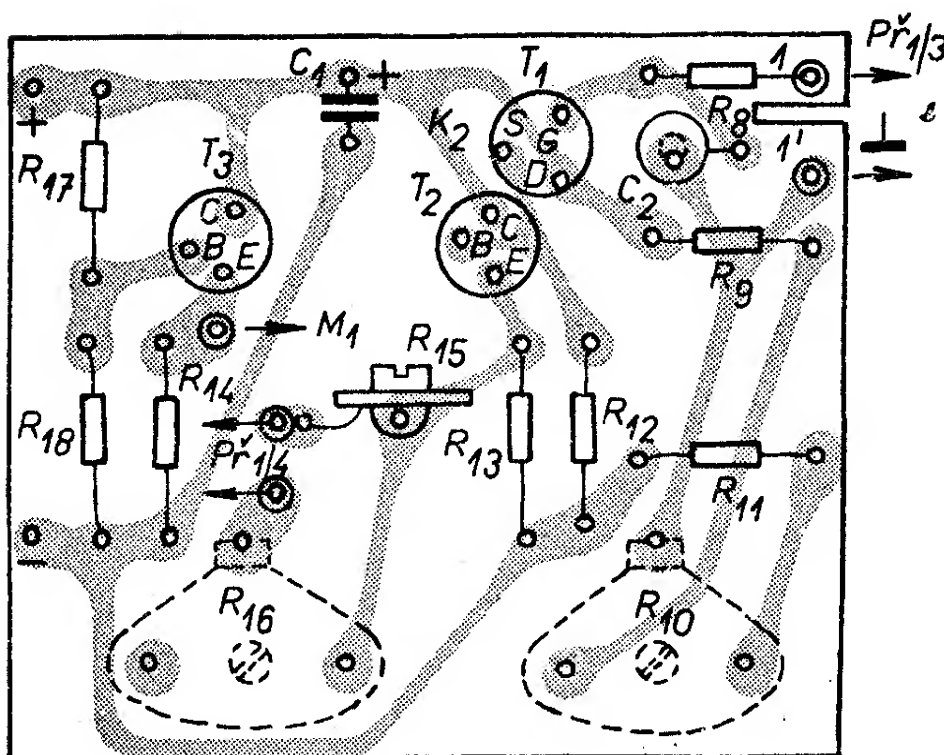
a zalepíme otvor bez pružin zalitím lepidlem Epoxy 1200.

Držáky baterií zhotovíme z duralového plechu tloušťky 1 mm obdobně jako na obr. 35. Jinak lze ovšem použít upravené držáky baterií pro tranzistorové přijímače (náhradní držáky pro tužkové a destičkové baterie), které vhodným způsobem připevníme zespodu k nosnému hlavnímu panelu.

Pouzdro na přístroj vyrobíme způsobem popsaným v článku o měřiči tranzistorů (obr. 12). Při této příležitosti je ovšem nutno opět upozornit na změnu rozměru „X“ (hloubka skříně), který bude záviset na hloubce použitého měřidla, popřípadě na jeho osazení (se zapuštěním nebo bez) a jeho úpravě (s odříznutím spodní části pro bočník či bez).

V našem případě bylo použito velké měřidlo DHR 8 – 200 μ A (Metra – Blansko), z čehož vyplynuly veškeré ostatní rozměry přístroje; pro použití menšího měřidla DHR 5 – 200 μ A se přímo nabízí koncepce „opravdu kapesního a lehce přenosného“ měřicího přístroje, která se ovšem neobejde bez úprav měřidla i cuprexitové destičky se součástkami.

Součástky jsou k nosné destičce B35 připájeny z lici strany (tj. nikoli z té



Obr. 62. ! Rozměry destičky s plošnými spoji (B35) a rozložení hlavních součástí

která je plátována měděnou fólií) kromě odporových trimrů pro nastavení nuly (R_{10}) a kalibrace rozsahu Ω (R_{16}). To proto, aby hřídelky těchto trimrů po přišroubování destičky procházely nosným panelem a částečně vyčnívaly na straně součástek. Z toho důvodu použijeme tzv. „širokých“ typů určených pro plošné spoje s delšími hřídelkami (asi 12 mm).

Uvedení do chodu a pokyny pro používání

Po osazení destičky B35 součástkami přišroubovujeme ji k mezipanelu (obr. 61, 4. str. obálky). Na mezipanel připevníme oba přepínače a tento celek přišroubovujeme dvěma distančními tyčkami k nosnému panelu přístroje. Potom propojíme k příslušným bodům na destičce měřidlo a spoje mezi přepínači, vstupním konektorem a držáky obou baterií. Po připojení baterií sepne spínač S_1 , čímž uvedeme měřicí přístroj do chodu. Máme-li přepínač $Př_1$ v poloze pro měření napětí ($V=$), má ručka indikačního měřidla zaujmout výchylku totožnou s nulou stupnice. Zpravidla tomu tak nebude, neboť trimrem R_{10} není nastaveno správné předpětí. Proto otáčíme běžcem odporového trimru R_{10} tak dlouho, až ručka měřidla zaujme nulovou polohu. Při tomto úkonu je třeba, aby byla odpojena dvoupramenná přívodní šňůra od konektoru. Pak totiž nezáleží na poloze přepínače rozsahu napětí $Př_2$, je-li ovšem přístroj v kovové skříni. Leží-li totiž šňůra v blízkosti proměřovaného objektu a je-li nastaven měřicí rozsah přepínačem $Př_2$ „1 V“, mohlo by se na vstup naindukovat cizí napětí. To by způsobilo, že by se ručka poněkud vychýlila a nastavení nuly trimrem R_{10} by bylo nesprávné. Proto je nejvhodnější nastavovat nulu při přepínači $Př_2$ na nejvyšším napětovém rozsahu. Po nastavení nuly přepneme přepínač $Př_2$ na rozsah „10 V“ a na vstup měřicího přístroje přivedeme (z nějakého zdroje přesného napětí – např. zdroje referenčního napětí se Zenerovou diodou) napětí 8 až 10 V. Na shodnou úroveň s referenčním napětím vyrovnáme ručku měřidla změnou polohy běžce odporového trimru R_{15} . Po

dosažení souhlasu výchylky ručky s dělením stupnice na tomto rozsahu platí průběh stupnice (který je rovnoměrný) i na všech dalších rozsazích.

V další etapě přikročíme k nastavení koncové výchylky (nekonečný odpor) pro měření odporů. Při přepnutí přepínače funkcí $Př_1$ do druhé polohy musí totiž zaujmout ručka měřidla druhou koncovou výchylku, tj. shodnou se značkou pro nekonečný odpor (na stupnici vpravo). Běžně opět tomu tak nebude; do žádané polohy dostaneme ručku otáčením běžce odporového trimru R_{16} . Opět postačí, nastavíme-li koncovou výchylku pouze na jednom, libovolném rozsahu, neboť (což vyplývá z principu měření odporů) zůstává zachována pro všechny ostatní rozsahy.

Při zkratování vstupních svorek (konektoru) zaujme ručka měřidla nulovou polohu. Tu již není třeba opravovat, protože byla nastavena při předcházejícím postupu.

Jsou-li použité baterie čerstvé, není třeba opravovat polohy běžců trimrů R_{10} a R_{16} , třebaže jsou za tímto účelem vyvedeny jejich hřídelky nad čelní panel. Teprve při poklesu napětí baterií dovolují tyto trimry nutnou opravu před zahájením měření.

Odpory R_{15} a R_{16} jsou dostatečně velké, takže je možno pro popisovaný přístroj použít libovolné měřidlo s citlivostí v rozsahu od 50 μA až do 250 μA .

Při uvádění do chodu je ovšem třeba, aby použité měřidlo bylo opatřeno stupnicí s lineárním průběhem. Měřidla, která jsou v prodeji (prodejna „Radioamatér“, Praha 2, Žitná ul.), jsou běžně opatřena jednou lineární stupnicí s dělením na dvacet, padesát či sto dílků. Někdy lze ovšem příležitostně zakoupit (např. v obchodech s použitým zbožím – bazarech) měřidlo se „slepou“ stupnicí, popřípadě se stupnicí nelineárního průběhu.

Máme-li měřidlo, jehož stupnice je lineární, avšak číslování nesouhlasí s požadovaným desítkovým označením, lze nežádané číslice (po sejmutí krytu měřidla a vyjmutí stupnice) opatrně odškrabat ostrou žiletkou a na jejich místa na-

kreslit tuší (ostrým pérkem, tzv. kotýrkou) nové. Taktéž lze stejným způsobem – za pomoci kružítko a vytahovacího péra překreslit i dělení stávající stupnice a konečně pořídit i druhou stupnici pro čtení měřených odporů.

Pro odvození vztahu mezi lineární stupnicí pro měření napětí a nelineární stupnicí pro měření odporů si musíme uvědomit, jakým způsobem se u tohoto přístroje měří odpory. V principu tedy při měření odporů připojujeme ke vstupu diferenciálního zesilovače paralelně sériový obvod složený z baterie a z předřadného odporu. Velikostí předřadného odporu R je dán i měřicí rozsah široký dvě dekády, a to od $0,1 R$ do $10 R$. Měření probíhá tím způsobem, že ke zmíněnému sériovému obvodu odpor-baterie připojujeme paralelně neznámý odpor R_x . Hodnota tohoto odporu má vliv na výchylku měřidla. To znamená, že při $R_x = \infty$ pracuje přístroj jako voltmetr a indikuje svorkové napětí baterie B_2 v plné velikosti ($U_b = \text{konst.}$); při $R_x = R$ je výchylka právě poloviční a posléze při $R_x = 0$ zaznamená měřidlo nulovou výchylku. (R_x zkratuje svorkové napětí sériového obvodu odpor – baterie). Z Ohmova zákona tedy odvodíme vztah pro vyjádření rovnice průběhu odporové stupnice, která bude společná pro všechny rozsahy.

$$R_x = \frac{R (U_b - U_x)}{U_x} \quad [\text{k}\Omega; \text{k}\Omega, \text{V}] \quad (10),$$

kde R_x je měřený odpor,

R předřadný odpor (např. 10 k Ω),

U_b napětí baterie B_2 (1,5 V) a

U_x napětí úměrné velikosti R_x , zjištěné např. jako výchylka na rozsahu 0 až 10 V.

Dosazováním do rovnice (10) za různá zvolená U_x ($U_x = 0,95 U_b; 0,9 U_b; 0,85 U_b; 0,8 U_b; \dots$) obdržíme R_x tak, že nezískáme vhodný podklad pro určení průběhu odporové stupnice. Výhodnější je postupovat opačně, a to tak, že pro zvolená R_x hledáme odpovídající napětí U_x . Napětí U_x vypočteme z upraveného vztahu (10):

$$U_x = R \frac{U_b}{R + R_x} \quad [\text{V}; \text{k}\Omega, \text{V}] \quad (11).$$

Průběh stupnice je nezávislý na napětí U_b ; z toho důvodu je měření správné i při menším napětí baterie B_2 , než je jmenovité. (U_x je přímo úměrné U_b , pro něj – ať je jakkoli velké – vždy při $R_x = \infty$ se seřizuje trimrem R_{16} maximální výchylka ručky!).

A nyní ještě několik slov o funkci členu $R_8 C_2$. Tento člen je zařazen ve vstupu diferenciálního zesilovače (obr. 60) a má časovou konstantu 10 ms. Tím je zajištěno, že náhlé změny napětí neúčinkují okamžitě (nezpůsobí okamžitý rozkmit ručky měřidla). Kondenzátor C_2 navíc zkratuje případná vf nebo střídavá napětí, proniknuvší na elektrodu G tranzistoru T_1 . (Dolní mezní kmitočet členu $R_8 C_2$ je 16 Hz). Z toho důvodu nemohou strmé pulsy napětí (např. při měření napětí na zvyšovací diodě v televizoru) poškodit vstupní tranzistor FET, neboť jsou tímto členem integrovány.

Při případném předpětí na rozsahu „1 V“ (při chybném přepojení prepínače rozsahů P_2) omezuje R_8 vstupní napětí na únosnou velikost, při níž nedojde k poškození T_1 . Na dalších stejnosměrných rozsazích přispívá k omezení i značně velký odpor R_1 .

Na obr. 63 je pohled zespodu na hotový sestavený měřicí přístroj (4. str. obálky).

RADIOVÝ KONSTRUKTÉR – vydává Vydavatelství MAGNET, Praha 1, Vladislavova 26, telefon 234355–7 ● Šéfredaktor ing. František Smolík ● Redakce Praha 2, Lublaňská 57, tel. 223630 ● Redakční rada: K. Bartoš, ing. J. Čermák, K. Donát, ing. L. Hloušek, A. Hofhans, Z. Hradský, ing. J. T. Hyan, K. Krbec, K. Novák, ing. O. Petráček, dr. J. Petránek, ing. J. Plzák, M. Procházka, K. Pytner, ing. J. Vackář, J. Ženíšek ● Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 4,50 Kčs, pololetní předplatné 13,50 Kčs, roční předplatné 27,– Kčs ● Rozšiřuje PNS, v jednotkách ozbrojených sil MAGNET – administrace, Praha 1, Vladislavova 26. Objednávky přijímá každá pošta i doručovatel ● Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS-vývoz tisku, Jindřišská 14, Praha 1 ● Dohlédací pošta 07 ● Tiskne Naše vojsko, závod 01. Na valech 1, Praha-Dejvice ● Za původnost příspěvků ručí autor. Redakce rukopis vrátí, bude-li vyžádán a bude-li připojena frankovaná obálka se zpětnou adresou ● Toto číslo vyšlo 23. října 1969

© Vydavatelství Magnet, Praha

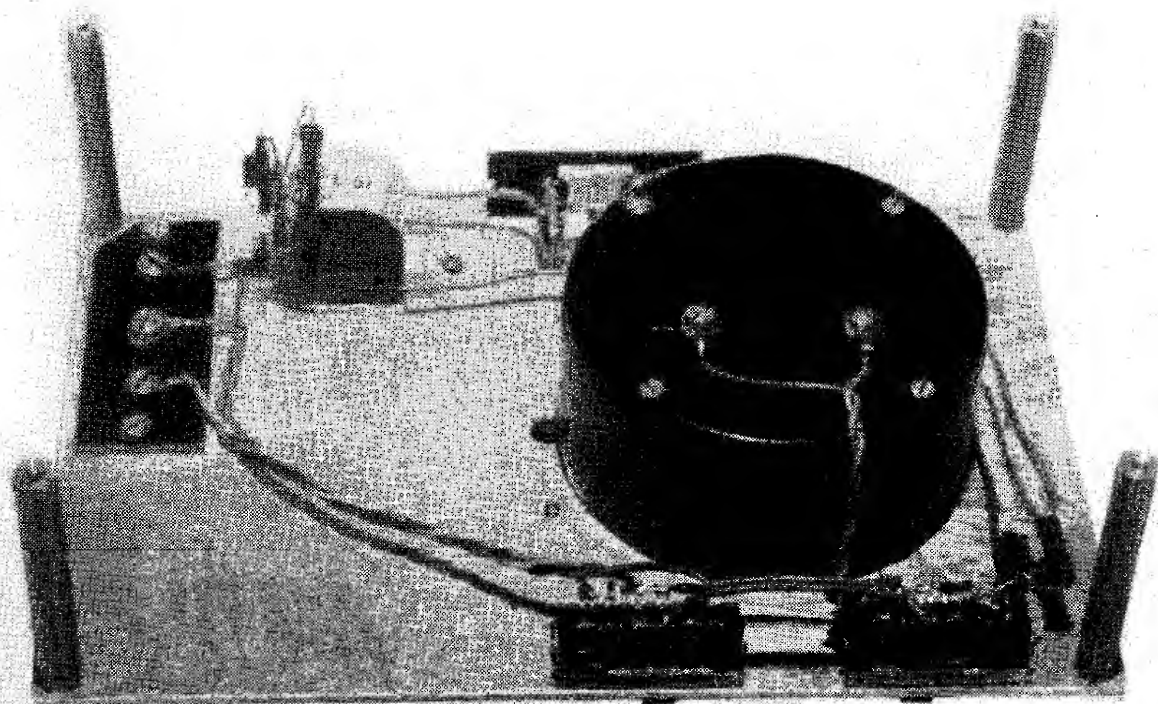
SHÁNÍTE PRACNĚ TECHNICKOU SERVISNÍ DOKUMENTACI?

● Pro velký zájem veřejnosti jsme vydali velmi žádanou technickou servisní dokumentaci k starším typům TELEVIZORŮ – až po řadu Oliver (např. 4001, 4002, Mánes, Aleš, Oravan, Lotos, Kamelie, Orchidea, Štandart, Azurit, Athos) a v omezeném množství též k starším typům RADIOVÝCH PŘIJÍMAČŮ, MAGNETOFONŮ, GRAMOFONŮ a AUTORÁDIÍ. K zakoupení přímo v našem středisku nebo na dobírku prostřednictvím naší zásilkové služby – na základě vaší písemné objednávky.

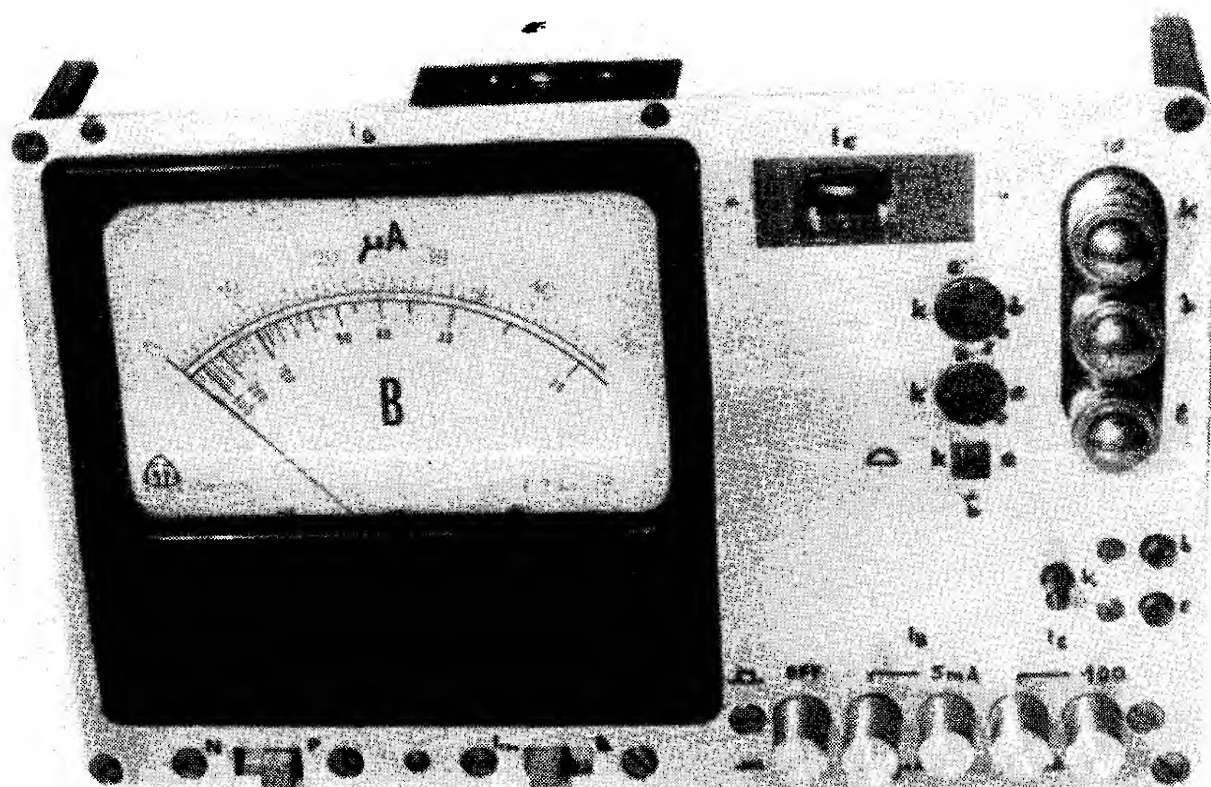
● Máte-li též zájem o pravidelný odběr techn. dokumentace k výrobkům typické spotřební elektroniky TESLA (1 sešit za cca 13,— Kčs) a stát se členem SERVIS-KLUBU TESLA, zašlete nám závaznou přihlášku s uvedením své adresy a povolání.

TESLA

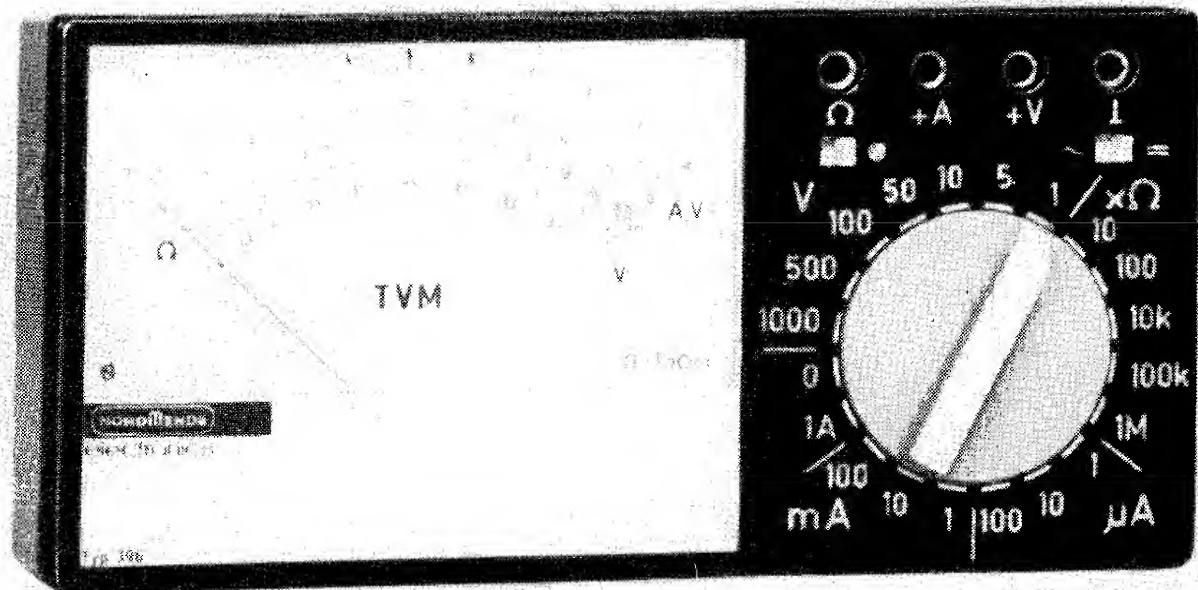
STŘEDISKO TECHNICKÉ DOKUMENTACE
PRAHA 8, Sokolovská 144, telefon 822907



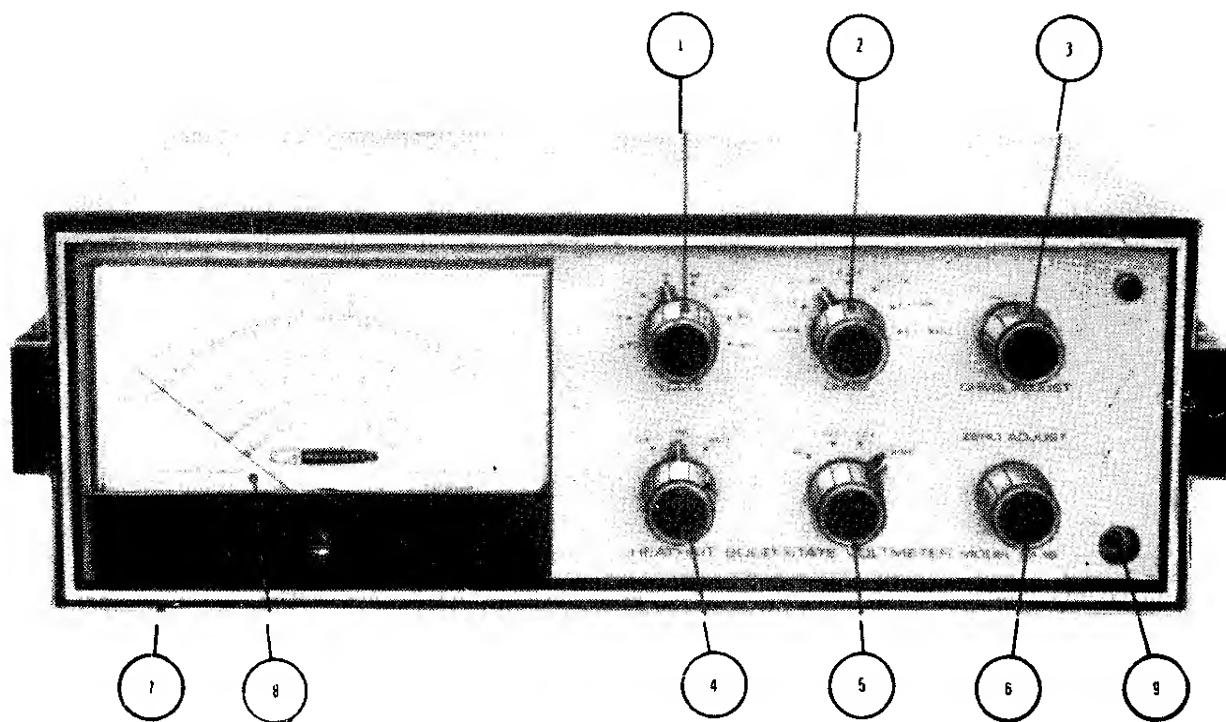
Obr. 15. Pohled na sestavený měřič zezadu



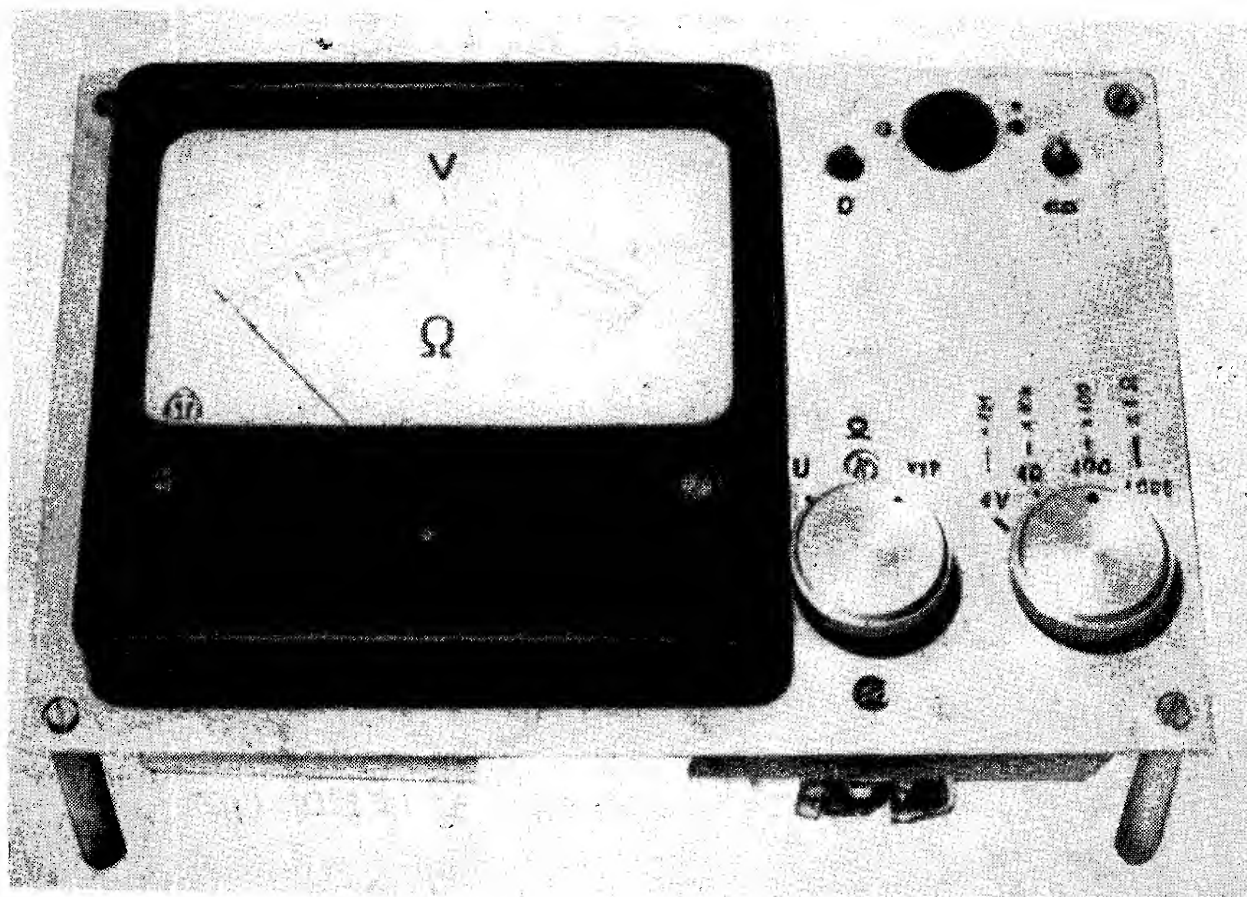
Obr. 17. Pohled na provedení měřiče podle zapojení z obr. 16



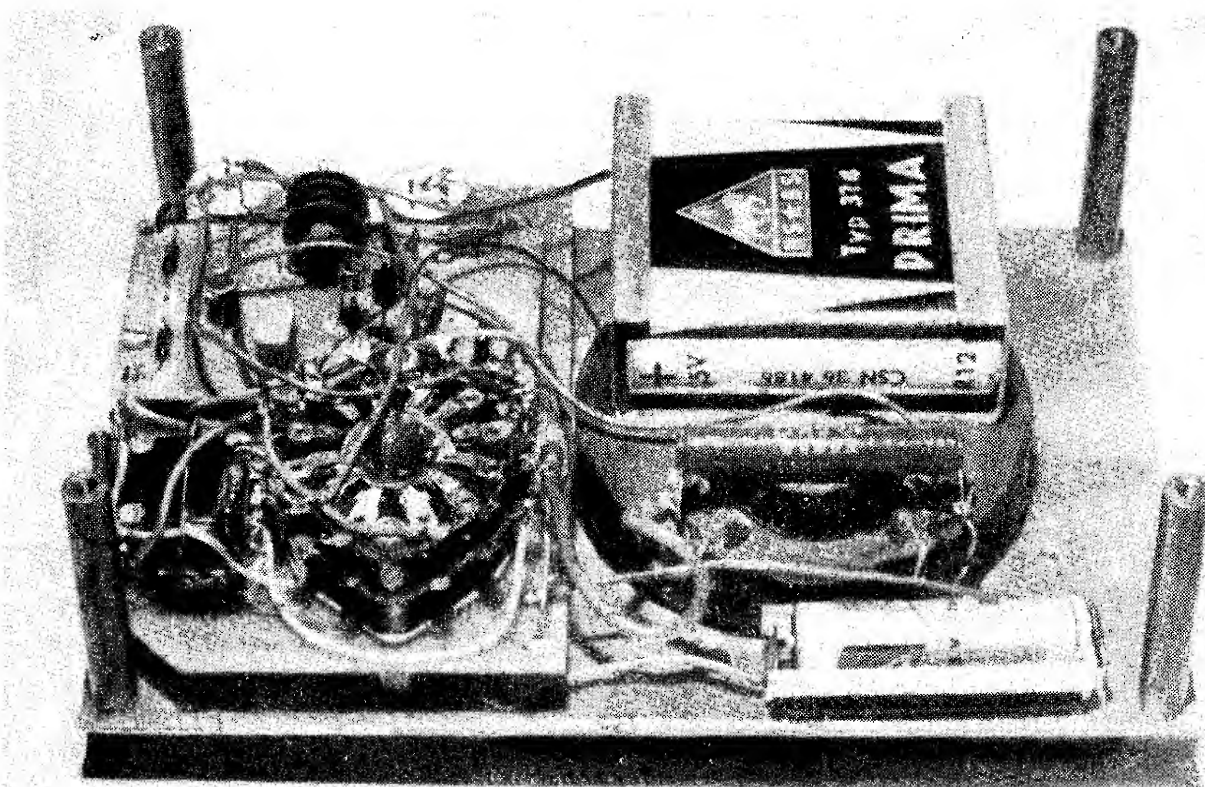
Obr. 55. Vnější vzhled univerzálního tranzistorového měřicího přístroje fy Nordmende, TVM 396 pro měření střídavých a stejnosměrných napětí a proudů, popř. odporů v kapesním provedení ($185 \times 90 \times 40$ mm). Vstupní odpor je při stejnosměrných měřeních $= 50 \text{ M}\Omega$, při měření střídavých napětí $1,5 \text{ M}\Omega/20 \text{ pF}$



Obr. 57. „Stolní“ provedení univerzálního měřicího přístroje IM-16 (voltohmmetru) firmy Heathkit v unifikované kovové skříni, osazeného šesti tranzistory a jedním tranzistorem FET. 1 – volba napětových rozsahů $Př_2$, 2 – volba násobitele pro zjišťování velikosti odporů $Př_3$, 3 – vyvážení odporového rozsahu R_{17} , 4 – přepínač $Př_4$ provozu sítě – vestavěné baterie, 5 – přepínač funkcí $Př_1$, 6 – nastavení nuly R_{19} , 7 – jednotná unifikovaná skříň, 8 – širokoúhlé měřidlo (100°), 9 – vstupní konektor



Obr. 61. Pohled na konstrukci třítranzistorového voltohmmetru podle zapojení z obr. 60



Obr. 63. Pohled zespodu na sestavený a zapojený voltohmmetr s velkým vstupním odporem